

**FACTEURS INFLUENÇANT LA RÉSILIENCE ÉCOLOGIQUE ET ÉCONOMIQUE D'UN SYSTÈME
AGROFORESTIER DE CACAO**

Par
Maëlle Tripon

Mémoire de recherche présenté au Centre universitaire de formation en environnement et
développement durable en vue de l'obtention du grade de maîtrise en environnement (M. Env.)

Sous la direction de Dorothée Boccanfuso et Sophie Calmé

MAITRISE EN ENVIRONNEMENT
UNIVERSITÉ DE SHERBROOKE

Mars 2020

COMPOSITION DU JURY

Ce mémoire a été évalué par un jury composé des professeurs suivants :

Dorothée BOCCANFUSO, direction de recherche
(Département d'économique, École de gestion de l'Université de Sherbrooke)

Sophie CALMÉ, codirection de recherche
(Département de biologie, Faculté de Sciences de l'Université de Sherbrooke)

Alain WEBSTER, membre du jury
(Département d'économique, École de gestion de l'Université de Sherbrooke)

Bernard TRIOMPHE, membre du jury
(CIRAD UMR Innovation & IICA México)

SOMMAIRE

Mots-clés : systèmes socioécologiques, agroforesterie, facteurs de résilience, développement économique, pauvreté, caractéristiques écologiques, cacao.

Dans un contexte de changements climatiques et de dégradation des terres, les systèmes socioécologiques, dont les systèmes agricoles, sont de plus en plus soumis à des perturbations et à des stress. Identifier les principaux facteurs influençant leur résilience, c'est-à-dire leur capacité d'adaptation, apparaît comme nécessaire. Dans ce sillage, l'objectif de ce mémoire est d'identifier les facteurs influençant la capacité de résilience d'un système agroforestier de cacao, dans la région du Soconusco, au sud-ouest du Mexique. Cette étude a été réalisée en collaboration avec une coopérative de producteurs biologiques, le Centre Agroécologique Saint-François d'Assise (CASFA).

Des modèles ont été construits pour identifier les facteurs influençant la résilience économique et écologique. Deux modèles socioéconomiques (l'un basé sur la pauvreté monétaire, l'autre sur la perception du bien-être) cherchaient à identifier les facteurs influençant la résilience communautaire. L'effet des caractéristiques écologiques (diversité, biomasse et matrice paysagère) sur la productivité de cacao de la parcelle a ensuite été considéré. Enfin, un modèle socioécologique (modèle Seemingly Unrelated Regression (SUR)) a été construit pour explorer les liens entre variables socioéconomiques et écologiques. Les données ont été collectées lors d'entretiens avec des ménages ($n = 123$) afin de déterminer les caractéristiques socioéconomiques, types de culture, marché de vente du cacao, perception de la situation économique, et lors de la visite des parcelles d'un sous-ensemble de ces ménages ($n = 34$) afin de déterminer la diversité du couvert forestier et la biomasse souterraine.

L'étude a révélé l'importance du capital humain, à la fois individuel (niveau d'éducation) et collectif (système de gouvernance), dans la résilience communautaire. Ainsi, si la coopérative ne permet pas aux producteurs d'avoir des revenus plus élevés, elle favorise la création d'un réseau communautaire. Les pratiques de gestion des producteurs semblent avoir un effet important sur la productivité du cacao, notamment celles concernant la couverture forestière; cependant ces pratiques n'ont pas pu être évaluées en détail. De plus, la variable de productivité du cacao n'a pas permis de capter l'importance des variables écologiques de la parcelle. Enfin, certaines variables sont interprétables comme des variables socioécologiques. Ainsi, la matrice paysagère pourrait être un indicateur de services écosystémiques rendus tels que la pollinisation ou la régulation du micro-climat. Affiner les modèles

permettant de capter et d'interpréter les variables socioécologiques est nécessaire pour améliorer notre compréhension de ces systèmes.

REMERCIEMENTS

Je tiens tout d’abord à remercier l’ensemble des producteurs qui ont accepté de répondre à mes questions et de m’accompagner lors de mes visites sur les parcelles. Sans vous, ce mémoire aurait été impossible. Je tiens plus particulièrement à souligner l’accueil et la gentillesse de la famille d’Elfido, de Zoila, de Raul et de Demetria. Au sein de la coopérative, un merci tout particulier à José Adrian et à toute sa famille, ainsi qu’à Victoria, à Maria Carmen et à Ivan.

Un énorme merci à Edmundo Huerta Patricio, qui m’a accompagné sur le terrain et à qui la méthodologie d’échantillonnage du couvert forestier appartient. Sans toi mes compétences en identification de plantes seraient sans doute encore pires qu’actuellement et il m’aurait été impossible de collecter les données écologiques. Merci surtout pour ce projet que tu as débuté.

Je tiens ensuite particulièrement à remercier mes deux directrices de recherche, Sophie Calmé et Dorothée Boccanfuso, qui m’ont proposé et permis de mener à bien ce projet. Vous m’avez accompagnée jusqu’à son aboutissement et permis d’apprendre et de progresser tout au long de ma maîtrise. Merci pour les discussions sur l’économie et le développement, Dorothée. Merci de m’avoir permis d’accéder à des opportunités de cours, de recherche et des financements via le CSBQ, Sophie.

Merci à VoiceAge, sans qui le financement de ce mémoire aurait été impossible et qui m’a permis de me concentrer pleinement sur mes études, ainsi qu’à Mitacs Globalink et au Centre de la Science de la Biodiversité du Québec (CSBQ) pour le financement du travail de terrain et des visites dans les laboratoires au Mexique. Je remercie également le Groupe de Recherche en économie et développement international (GRÉDI) pour le prêt des tablettes électroniques nécessaires aux enquêtes ménages, ainsi que le professeur Miguel Ángel López Anaya (ECOSUR San Cristobal) pour le prêt du carottier. Merci à Lislie Solis Montero (ECOSUR à Tapachula, qui m’a permis d’accéder aux laboratoires pour faire sécher mes échantillons de sol et qui a fourni un logement dans le centre de recherche. Merci également à Esperanza Huerta (ECOSUR) pour les conseils concernant les échantillons de sol.

Merci au département d’écologie de l’Université de Sherbrooke, qui m’a beaucoup appris. Un merci plus particulier aux laboratoires Calmé et Gravel (Amaël, Azénor, Stéphanie, Will, Madelaine, Gabriel, Victor, etc.), sans qui il aurait été moins facile de se motiver à travailler tous les matins. Aymeric, puisque tu entres presque dans cette catégorie, j’en profite pour te remercier pour les longues discussions, pour l’enthousiasme et pour les installations dignes des plus grands réalisateurs de cinéma. Merci, enfin, à Arnaud et Yona qui ont été présents depuis le début de la maîtrise et dont le soutien a été précieux.

TABLE DES MATIÈRES

LISTE DES ACRONYMES, DES SYMBOLES ET DES SIGLES	ix
INTRODUCTION.....	1
1 REVUE DE LITTÉRATURE	4
1.1 Agriculture et durabilité.....	4
1.2 Conceptualisation des liens entre systèmes sociaux et écologiques.....	5
1.3 Évolution du concept de résilience	7
1.4 Difficultés de la modélisation du concept de résilience	9
1.5 Identification des facteurs de résilience	11
1.6 Pauvreté et résilience	12
1.7 Synthèse.....	13
2 OBJECTIFS	15
3 DESCRIPTION DU SYSTÈME D'ÉTUDE	17
3.1 Région d'étude.....	17
3.1.1 Contexte géographique et écologique.....	17
3.1.2 Contexte socioéconomique.....	20
3.2 Culture du cacao	21
3.2.1 Caractéristiques agronomiques	21
3.2.2 Variétés	23
3.2.3 Travail du cacao.....	23
3.2.4 Situation actuelle	25
3.3 Étude de cas	27
3.3.1 Description de l'étude de cas.....	27
3.3.2 Application du cadre conceptuel des systèmes socioécologiques à l'étude de cas	29
4 MÉTHODOLOGIE	31
4.1 Collecte de données.....	31
4.1.1 Données socioéconomiques	31
4.1.2 Données sur les pratiques de gestion et les parcelles	33
4.1.3 Données écologiques	34
4.1.4 Mappage de données.....	35
4.2 Modèles théoriques.....	36

4.2.1	Modèles socioéconomiques.....	36
4.2.2	Modèle écologique.....	39
4.2.3	Modèle socioécologique	41
4.3	Limites à la collecte des données et à la méthodologie	42
4.4	Analyses statistiques.....	42
4.4.1	Exploration des données.....	43
4.4.2	Statistiques descriptives.....	43
4.4.3	Sélection des modèles.....	44
5	RÉSULTATS.....	46
5.1	Statistiques descriptives	46
5.1.1	Variables socioéconomiques et pauvreté	46
5.1.2	Exploitation agricole.....	50
5.1.3	Cacao : vente et parcelles	56
5.2	Description des modèles.....	61
5.2.1	Modèles socioéconomiques.....	61
5.2.2	Modèle écologique.....	65
5.2.3	Modèle socioécologique complet.....	67
6	DISCUSSION	71
6.1	Importance du capital humain et de la capacité d'adaptation.....	71
6.2	Pratiques de gestion et particularités de la culture du cacao	73
6.3	Forces et limites du modèle socioécologique.....	75
	CONCLUSION.....	77
	LISTE DE RÉFÉRENCES.....	79
	ANNEXES.....	88
	Annexe 1 : Liste des espèces rencontrées sur les parcelles et occurrences.....	88
	Annexe 2 : Protocole pour l'identification des espèces et de détermination de la biomasse des parcelles agroforestières de cacao.....	90
	Annexe 3 : Questionnaire d'entretiens (versions espagnole et française).....	94
	Annexe 4 : Code dans R nécessaire à l'analyse de données.....	116
	Annexe 5 : Résultats du facteur d'inflation de la variance (vif) pour les modèles	123
	Annexe 6 : Relations linéaires utilisées pour le mapping de données	124
	Annexe 7 : Statistiques complètes par groupe d'exploitations agricoles.....	125
	Annexe 8 : Présentation de deux exploitations agricoles (étude de cas).....	127

LISTE DES FIGURES ET DES TABLEAUX

Figure 1-1 Composantes de la résilience (tirée de Mumby et al., 2014)	10
Figure 3-1 Localisation de la région du Soconusco (état du Chiapas, Mexique)	17
Figure 3-2 Principales communautés de la zone d'étude au sein de la région du Soconusco	18
Figure 3-3 Aperçu topographique de la région d'étude avec l'emplacement des principaux municipes et ejidos d'étude	19
Figure 3-4 Photos d'un cacaotier et des fleurs de cacao	22
Figure 3-5 Schéma d'un système agroforestier de cacao	23
Figure 3-6 Caisses de fermentation du cacao, encore non recouvertes de feuilles de bananier	25
Figure 3-7 Cabosse de cacao atteinte de moniliose (tache brune)	26
Figure 3-8 Description du fonctionnement commercial du modèle d'étude	28
Figure 3-9 Cadre conceptuel des systèmes socioécologiques appliqué au système d'étude	30
Figure 5-1 Niveau d'éducation et âge du chef de famille	48
Figure 5-2 Taille de l'exploitation agricole (ha) en fonction de la taille de la parcelle (ha)	51
Figure 5-3 Revenu du cacao en fonction de la superficie de la parcelle de cacao	55
Figure 5-4 Productivité de cacao en fonction de la superficie de la parcelle	56
Figure 5-5 Matière organique du sol par ejido d'étude	60
Figure 5-6 Niveau d'éducation du chef de famille et dépenses mensuelles par équivalent adulte (en pesos)	63
Figure 5-7 Dépenses mensuelles en équivalent adulte selon le type d'exploitations	64
Figure 5-8 Productivité annuelle du cacao (kg/ha/an) en fonction de la taille de la parcelle (ha)	66
Figure 5-9 Productivité du cacao en fonction du type de parcelle de cacao	67
Tableau 2-1 Objectifs et hypothèses	16
Tableau 3-2 Caractéristiques de deux paysages distingués dans la zone d'étude	19
Tableau 4-1 Nombre d'entretiens réalisés, par municipale et <i>ejido</i>	33
Tableau 4-2 Moyenne et variance des échantillons réels et estimés du pH, de la densité apparente, de l'indice de Shannon et de la biomasse	36
Tableau 4-3 Variables socioéconomiques testées dans le modèle	38
Tableau 4-4 Variables explicatives du modèle écologique à partir des dimensions de la résilience des systèmes socioécologiques déterminées par Biggs et al. (2012)	39
Tableau 5-1 Caractéristique socioéconomique des ménages, par municipes et ejidos	46

Tableau 5-2 Pauvreté et pauvreté extrême (%) par municipale et ejido	48
Tableau 5-3 Caractéristiques des exploitations selon leurs groupes	52
Tableau 5-4 Principales cultures de rente et présence d'animaux.....	52
Tableau 5-5 Répartition des ventes de cacao par municipales et ejidos	57
Tableau 5-6 Caractéristiques des parcelles de cacao par groupe.....	58
Tableau 5-7 Résultats des modèles socioéconomiques	62
Tableau 5-8 Résultats du modèle écologique de productivité de la parcelle.....	65
Tableau 5-9 Résultats du modèle socioécologique (modèle SUR)	68

LISTE DES ACRONYMES, DES SYMBOLES ET DES SIGLES

CASFA	Centre Agroécologique Saint-François d'Assise
FAO	<i>Food and Agriculture Organization</i> - Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et pour l'agriculture
GIEC	Groupe intergouvernemental sur l'évolution du climat
IPCC	<i>Intergovernmental Panel on Climate Change</i>
ODD	Objectifs de Développement Durable de l'Organisation des Nations Unies
ONU	Organisation des Nations Unies
PIB	Produit Intérieur Brut
RSE	<i>Residual Standard Error</i> – Erreur Standard Résiduelle
SES	Système socioécologique
SUR	<i>Seemingly Unrelated Regression</i>
Vif	Facteur d'Inflation de la Variance
WHO	<i>World Health Organization</i> – Organisation mondiale de la Santé

INTRODUCTION

Nous assistons aujourd'hui à une augmentation certaine des problèmes environnementaux, mais dans une mesure difficile à quantifier. En effet, un récent communiqué du Groupe intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC) soulignait que les terres émergées sont soumises à la pression croissante des activités humaines (*Intergovernmental Panel on Climate Change* (IPCC), 2019). Le Centre sur la résilience de Stockholm (*Stockholm Resilience Center*) recense neuf « limites planétaires » au-delà desquelles les changements dans le fonctionnement des écosystèmes et dans les processus régulant le fonctionnement terrestre seront nombreux et leurs conséquences incertaines. Parmi ces neuf limites, trois sont déjà dépassées. Les changements d'usage des terres, soit l'anthropisation et la destruction de milieux naturels (ex. forêts, milieux humides, prairies, etc.) transformés en milieux agricoles font partie de ces « limites planétaires » et sont actuellement classés comme une variable « en zone d'incertitude et risque croissant ». (Rockström et al., 2009) La pression humaine sur les milieux naturels s'exprime en effet de façon différente selon l'échelle et la zone étudiée et est le résultat de la conjugaison de plusieurs phénomènes complexes (dynamiques économiques, constructions, agriculture, changements climatiques, etc.) (Turner et al., 2016). Des difficultés méthodologiques de mesure de cette dégradation rendent aussi difficile son évaluation : les données ne sont pas toujours disponibles et les scientifiques ne s'accordent pas sur le point de départ à considérer pour l'évaluer, ce qui peut faire varier les résultats (Kohler et al., 2018). Il est donc difficile de prévoir l'intensité de l'impact de la dégradation des terres sur les systèmes socioécologiques, c'est-à-dire sur la combinaison des systèmes sociaux et écologiques en interaction. Toutefois, il semblerait que ces systèmes complexes vont être affectés négativement de façon directe (ex. événements climatiques extrêmes) ou indirecte (ex. maladies), et que cela devrait se renforcer dans le futur. Encourager la résilience de ces systèmes est donc fondamental pour qu'ils ne soient pas trop impactés par ces phénomènes.

Les systèmes de production alimentaire font partie de ces systèmes socioécologiques. Les modèles de production agricole sont déterminés par la place de l'agriculture dans la société et le type de consommation, mais ils sont aussi influencés par de nombreux facteurs socioécologiques, complexes et imbriqués, tels que la qualité des sols, dépendant elle-même de la couverture végétale, des pratiques de gestion (par exemple, l'usage de fertilisants), de l'usage passé des terres, etc. (Lal et Stewart, 2010) La production alimentaire est de plus en plus affectée par les changements climatiques, à travers les variations de précipitations et l'occurrence accrue d'événements extrêmes (Mbow et Rosenzweig, 2019). D'après ces auteurs, il n'est pas simple de prévoir les effets régionaux de ces perturbations sur la

productivité, car ils dépendent de la région (zones tropicales généralement plus vulnérables) et du type de culture (par exemple, l'allongement des saisons de croissance peut permettre de produire plus, mais certaines plantes ont besoin d'une période de froid pour avoir une récolte viable). Ces perturbations vont affecter la santé et le bien-être des populations humaines, notamment des producteurs, et augmenter leur vulnérabilité (WHO, s. d.). Cela devrait être d'autant plus le cas dans les tropiques, où la demande en terres productives va augmenter (Turner et al., 2016) et où les populations pauvres dépendent directement des ressources naturelles (Nkonya, Mirzabaev et Von Braun, 2016).

Face à ces perturbations et à l'incertitude de l'intensité de leurs impacts sur les systèmes socioécologiques, il apparaît comme nécessaire de renforcer la capacité de résilience et d'adaptation de ces derniers. Des approches interdisciplinaires peuvent permettre de repérer des facteurs qui renforceraient la résilience des écosystèmes et des communautés humaines. Ces préoccupations se retrouvent dans les objectifs de durabilité adoptés par les grandes instances internationales, parmi lesquels on retrouve les dix-sept objectifs de développement durable (ODD) de l'Organisation des Nations Unies (ONU, 2018) et les cinq principes de l'alimentation et l'agriculture durables de l'Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture (FAO, s. d.)). L'étude des facteurs de résilience socioécologique est particulièrement pertinente dans le cadre des systèmes agricoles, qui se trouvent à la croisée de la « technosphère » (incluant les modes d'exploitation choisis), de la biosphère (représentant l'ensemble des conditions naturelles, telles que les ressources disponibles, le climat, etc.) et de « l'anthroposphère » (comprenant les modes de vie, les façons de cultiver, la demande de services écosystémiques, etc.) (Perrier, 2004). Prendre en compte les dimensions politiques, socioéconomiques et environnementales permettrait de mettre en place des systèmes durables qui répondent aux demandes socioéconomiques et au besoin de préservation des milieux et des ressources (Cooke et al., 2009) et qui sont adaptés au contexte (IPCC, 2019).

Le présent mémoire s'inscrit dans cette volonté de renforcement des facteurs de résilience et de durabilité des systèmes socioécologiques, en combinant à la fois conservation de l'écosystème et bien-être des populations locales. Une des premières étapes pour permettre ceci est de parvenir à identifier et repérer ces facteurs de résilience. Ce document s'intéresse au cas d'un système agroforestier de cacao, dans le sud-ouest du Mexique. Les systèmes agroforestiers, lesquels incluent une combinaison d'espèces ligneuses et non ligneuses ou d'animaux sur une même parcelle, sont un des modèles de production présentés comme durables et résilients. En effet, ils permettraient de conserver des services environnementaux comme la biodiversité, la qualité de l'eau, la fertilité des sols et la capture de carbone

(Beer et al., 2003), tout en encourageant la sécurité alimentaire et la stabilité de la production (Jamnadass et al., 2013). Le cacao est particulièrement adapté à ce type de culture, car il s'agit d'une plante poussant à l'ombre. Cultiver le cacao est donc avantageux, particulièrement au Mexique où la déforestation est importante, avec une perte de végétation officielle d'environ 1,08 million d'hectares par année, surtout dans les zones de forêts tropicales humides où pousse le cacao (Torres Rojo, s. d.). L'agriculture y occupe environ 3,4 % du produit intérieur brut (PIB) (World Bank, 2018) et fait vivre 5,5 millions de personnes, soit environ 5% de la population. La pauvreté rurale (personnes vivant sous la ligne de pauvreté internationale) était de 14,6 % en 2014 (Villagómez Ornelas, s. d.) et les problématiques d'inégalités demeurent importantes au Mexique : alors que l'indice de Gini avait diminué depuis le milieu des années 90, il est de nouveau à la hausse depuis 2010, puisqu'il est passé de 47,2 en 2010 à 48,3 en 2016 (World Bank, 2017). Les inégalités pourraient continuer à augmenter, puisque les populations vulnérables sont aussi celles les plus susceptibles d'être touchées par l'impact des changements climatiques et de perdre leur habilité à y faire face (Islam et Winkel, 2017). Dans ce contexte, identifier les facteurs de résilience apparaît comme nécessaire pour permettre l'adaptation des systèmes socioécologiques productifs et ne pas renforcer ces inégalités.

Ce mémoire s'attache donc à identifier les facteurs de résilience socioéconomique des petits producteurs de cacao et les facteurs de résilience écologique des agroécosystèmes de cacao qu'ils possèdent dans la région du Soconusco, au sud-ouest du Mexique. Il s'inscrit dans une démarche interdisciplinaire, en s'intéressant à la fois aux dimensions écologiques et socioéconomiques de l'étude de cas. Il est divisé en six parties. La première partie présente une revue de littérature sur la modélisation des systèmes société-nature et la résilience, tandis que la seconde présente les objectifs. La troisième partie s'attarde à la description du système d'étude. La quatrième partie expose la sélection des données à mesurer, puis leur méthodologie de collecte et d'analyse. Enfin, les deux dernières parties traitent des résultats, c'est-à-dire des facteurs de résilience liés au bien-être des petits producteurs de cacao et à la productivité de leurs parcelles de cacao, avant de les discuter.

1 REVUE DE LITTÉRATURE

Cette section présente le contexte scientifique du mémoire de recherche. Elle rappelle les problèmes auxquels fait face l'agriculture industrielle. Elle s'attarde ensuite à la définition des systèmes socioécologiques, du concept de résilience et des facteurs permettant de la renforcer.

1.1 Agriculture et durabilité

La Révolution Verte désigne l'ensemble des politiques de transformation de l'agriculture, fondées principalement sur l'intensification des pratiques de gestion (machinerie et agrochimie) et l'utilisation de variétés sélectionnées à haut rendement, qui ont été mises en place à partir des années 1960 dans de nombreux pays en développement (Pingali, 2012). Si cette « révolution » a permis d'augmenter globalement la productivité (rendement à l'hectare) de certaines cultures, comme le riz, le blé ou le maïs, ses bienfaits sont aujourd'hui controversés (Evenson et Gollin, 2003). En effet, les objectifs de productivité n'ont pas toujours été remplis et la mise en place de ces modèles agricoles a eu des conséquences négatives, comme la perte de diversité génétique des espèces cultivées, l'utilisation accrue de produits agrochimiques et une mauvaise gestion de l'eau dans de nombreux endroits de la planète (FAO, 1996). Les modèles productifs encouragés par la Révolution Verte exercent une pression croissante sur les milieux naturels, notamment avec la déforestation, l'augmentation démographique, la dégradation des sols, la pollution des cours d'eau, ainsi que les problèmes de perte de biodiversité associée, ce qui renforce l'idée qu'il est nécessaire de trouver des modèles de production alimentaire différents (Nair, 1998). Ceci est d'autant plus vrai dans les zones rurales pauvres où la Révolution Verte a peu bénéficié au développement économique des paysans, notamment en raison des investissements importants qu'elle requiert et du fait que ce modèle ne soit pas toujours adapté aux conditions de culture. D'autres facteurs que celui des progrès technologiques sont à prendre en compte, tels que les politiques publiques et les marchés (FAO, 1996). En conséquence, des modèles agricoles durables doivent être adoptés pour répondre aux besoins humains, en ce qui concerne la nutrition et les revenus, tout en favorisant une gestion durable des ressources naturelles et des écosystèmes (FAO, 2015).

Plusieurs modèles agricoles alternatifs peuvent être envisagés. L'agroécologie présente certains de ces modèles alternatifs. Le concept d'agroécologie est apparu au début du XX^e siècle et se définissait alors comme une application de l'écologie en agriculture, en prenant en compte les différents composants du système, tels que les plantes, le sol, le climat et leurs interactions (Wezel et al., 2009). Il était donc basé sur les sciences biologiques, zoologiques et agronomiques. Il a ensuite beaucoup évolué et changé

d'échelle dans les années 1970, pour intégrer l'entièreté du système de production et d'autres disciplines, comme l'économie, l'anthropologie ou encore la sociologie (Francis et al., 2003). Dans ce cadre, Conway (1987) définit les quatre principes des « agroécosystèmes », appellation introduite dans les années 1970, comme étant (1) l'équité (2) la durabilité (3) la productivité et (4) la stabilité. Cela recoupe des pratiques agroécologiques se basant notamment sur la diversification des cultures, la polyculture et l'utilisation de graines locales (Mbow et Rosenzweig, 2019).

Parmi les systèmes agroécologiques, on peut compter les systèmes agroforestiers (Mbow et Rosenzweig, 2019), dont le principe est la combinaison de cultures de plantes ligneuses avec des productions agricoles ou du bétail sur une même parcelle (Nair, 1993). L'agroforesterie regroupe de nombreuses réalités, avec une combinaison de plantes ou de plantes et d'animaux (agrosilvopasture) qui peut se faire simultanément ou dans une séquence temporelle (Leakey, 1996). L'agroforesterie est une pratique ancienne puisqu'il était courant, par exemple dans l'Europe du Moyen-Âge, de cultiver arbres et grains simultanément sur une même parcelle. Le Centre International pour la recherche en Agroforesterie (aujourd'hui *World Agroforestry Centre*), créé en 1991, a permis d'en poser les concepts et d'en faire une science à part entière. La combinaison de cultures sur une même parcelle permet une biodiversité agricole (ou agrobiodiversité) supérieure à celle d'autres systèmes, comme les monocultures. Cela renforcerait les capacités de résilience et d'adaptation de l'agrosystème aux chocs, qu'ils soient environnementaux, biologiques ou économiques (Jackson, Pascual et Hodgkin, 2007). L'agroforesterie proposerait donc des modèles agricoles plus durables que ceux de la Révolution Verte.

Toutefois, il existe une grande diversité de modèles agroforestiers, qui recoupent des réalités différentes, et la compréhension de leur fonctionnement demeure complexe. Les systèmes agroforestiers, comme les autres systèmes agroécologiques, peuvent aussi être soumis à des défis tels que la baisse de productivité, le développement de maladies et de mauvaises herbes ou la difficulté du maintien du sol dans les zones de fortes pluies (érosion) (Nie et al., 2016). Ces systèmes ne sont donc pas des « solutions miracles ». Leur efficacité et leur durabilité dépendent du contexte et de leur adaptation aux conditions et aux besoins locaux. Trouver des moyens d'évaluation de l'efficacité et de la durabilité de ces systèmes apparaît comme utile pour statuer de leur bon fonctionnement.

1.2 Conceptualisation des liens entre systèmes sociaux et écologiques

Les systèmes agricoles sont constitués de systèmes sociaux et environnementaux en interaction et peuvent ainsi être considérés comme des systèmes complexes. Un système complexe est un système

constitué de dynamiques non linéaires (boucles de rétroactions, etc.) et de hauts degrés de variabilité dans l'espace et le temps, ce qui rend difficile la prévision de son comportement (Cumming et Collier, 2005). Dans ce cadre, des efforts interdisciplinaires de conceptualisation sont nécessaires pour comprendre la dynamique de ces systèmes (Binder, Hinkel, Bots et Pahl-Wostl, 2013), mais ils se heurtent à plusieurs difficultés. Norgaard (2008) rappelle deux de ces principaux obstacles, soit le manque de cadres conceptuels communs, entre et au sein même des disciplines, ainsi que des échelles temporelles d'études souvent inadaptées, car trop courtes pour permettre d'avoir une vue globale. Dans ce même ordre d'idée, Jackson, Pascual et Hodgkin (2007) soulignent, en prenant pour exemple le rôle de la biodiversité dans la production de services écosystémiques, l'importance de la création d'un vocabulaire et de définitions communes chez les économistes et les écologistes. Pour répondre à ce besoin, des efforts de conceptualisation des systèmes sociaux et écologiques ont été accomplis.

Une des premières tentatives pour prendre en compte, dans un même cadre conceptuel, systèmes sociaux et écologiques est l'approche des moyens de subsistance durables (« sustainable livelihoods »), concept évoqué la première fois dans le débat politique par la commission Brundtland, en 1987 (Solesbury, 2003). Le principe est de lier considérations écologiques et socioéconomiques pour construire des politiques publiques durables (Chambers et Conway, 1992). Ce concept est notamment parfois utilisé dans les pays en développement pour élaborer des politiques d'atténuation de la pauvreté (Serrat, 2017). Il consiste à évaluer les moyens de subsistance des ménages et leur bien-être, en se basant sur les capitaux humains, naturels, financiers, sociaux et physiques disponibles, pour apprécier leur capacité à résister à un stress et à améliorer leurs atouts, sans porter préjudice aux ressources naturelles (FAO, s. d.). Le cadre conceptuel des moyens de subsistance durables permet une grande adaptation au contexte et à la situation, mais demeure une approche descriptive, qui ne permet pas forcément de dégager les schémas et motifs sous-tendant une situation (Morse et McNamara, 2013). De plus, cette approche est anthropocentrique et prend peu en compte l'état réel de l'écosystème.

Le concept de services écosystémiques a également joué un rôle important dans la prise en compte des écosystèmes dans les politiques publiques. Les services écosystémiques sont les bénéfices que les humains tirent des écosystèmes. Le concept a émergé dans les années 80, avant de prendre de l'ampleur avec l'Évaluation des écosystèmes pour le millénaire (MEA, 2005), qui distingue les services de production (ex. aliments), de régulation (ex. contrôle des maladies), de support (ex. cycle du carbone) et les services culturels (ex. bénéfices spirituels). Le concept a servi dans les évaluations économiques, pour décider de l'utilisation des ressources naturelles quand plusieurs options sont possibles (conservation ou

exploitation, par exemple) (Farley, 2012). Il a permis de souligner l'importance de la conservation, en montrant que bien-être humain et services écosystémiques sont liés (Summers, Smith, Case et Linthurst, 2012) et que la dégradation des écosystèmes menace le bien-être humain (King et al., 2014). Les populations pauvres sont généralement plus vulnérables, car elles ont moins d'alternatives pour protéger leurs moyens de subsistance (Reid et al., 2005). Toutefois, ce concept a des limites puisqu'il est difficile de quantifier les services écosystémiques, dont certains ne sont pas commercialisables ou dépendent de valeurs culturelles (Kohler et al., 2018). Ainsi, le choix d'une mesure reste subjectif et souvent peu applicable à d'autres contextes.

Le concept des systèmes socioécologiques (SES) va plus loin en cherchant à représenter les interactions entre milieux naturels et sociétés humaines, pour en extraire les éléments importants et les dynamiques (McGinnis et Ostrom, 2014). Ce cadre conceptuel a été formalisé en 1990 par Elinor Ostrom dans *La Gouvernance des biens communs : pour une nouvelle approche des ressources naturelles* et vise la mise en place d'un cadre d'analyse commun à différentes disciplines pour comprendre et expliquer les processus gouvernant l'exploitation des ressources, permettant ensuite d'expliquer pourquoi certains systèmes sont durables quand d'autres s'effondrent (Ostrom, 2009). Il est appliqué à l'origine aux biens communs, qui correspondent aux ressources dont l'appropriation et l'exploitation sont collectives, comme les pêcheries. Il s'appuie sur l'identification des différents éléments du système, de leurs caractéristiques et des liens entre ressources (naturelles, économiques, etc.), acteurs, systèmes de production et de gouvernance, afin de saisir les dimensions socioéconomiques et écologiques avec justesse. Le cadre conceptuel des SES permet donc de conceptualiser des systèmes complexes qui suivent des dynamiques non linéaires (Folke, 2016), comme les systèmes agricoles.

1.3 Évolution du concept de résilience

La résilience est un des concepts utilisés pour caractériser les systèmes complexes, comme les SES (Folke, 2016), qui provient initialement de l'écologie. La résilience écologique est la capacité d'un système vivant à retrouver les fonctions et structures lui permettant de fonctionner (Holling, 1996). Elle se caractérise par son imprévisibilité, puisqu'il n'existe pas d'état stable unique et un écosystème peut passer d'un régime de stabilité à l'autre (Holling, 1996), sans qu'il y ait forcément d'élément perturbateur majeur (Mumby, Chollett, Bozec et Wolff, 2014). On peut prendre pour exemple les changements de régime en savane, où la productivité en termes de biomasse varie en fonction de la pluviométrie et résulte en un paysage plus ou moins ouvert et herbeux (Folke et al., 2004). Il faut distinguer cette résilience écologique

de la résilience d'ingénierie, définie comme la résistance à une perturbation et la rapidité du retour à un état d'équilibre constant (Mumby et al., 2014). Cette résilience permet de caractériser le taux de récupération d'un système, mais est difficile à appliquer dans les situations dans lesquelles l'état d'équilibre est complexe et difficile à déterminer (Mumby et al., 2014). Ces deux définitions permettent de prendre en compte la complexité des écosystèmes, tout en considérant leur capacité de résistance et de retour à un état de stabilité, quel qu'il soit (Gunderson, 2000).

Le concept a par la suite été récupéré par les chercheurs en sciences sociales. Il a été employé au niveau individuel pour caractériser la résilience psychologique d'individus (retour à un fonctionnement social et individuel standard), dans le cadre d'adversités chroniques (Masten, Best et Garmezy, 1990) ou d'événements traumatiques (Butler, Morland et Leskin, 2007). Il s'est ensuite étendu à la résilience communautaire, c'est-à-dire la capacité d'une communauté humaine à récupérer face à un stress ou à une perturbation (ex. catastrophe naturelle). Cette capacité de récupération est appelée capacité adaptative (Folke, 2006). Ce concept est aujourd'hui souvent utilisé par les organismes de développement, notamment dans le cadre de l'adaptation de régions aux changements climatiques et aux risques de catastrophe naturelle (World Bank, 2013).

L'évolution de la recherche a permis d'avoir une vue plus nuancée et subjective de la résilience, qui n'est plus seulement un ensemble d'indicateurs fixes et objectifs. Les perspectives sont ainsi devenues multi-échelles et interdisciplinaires. (Brown et Westaway, 2011) Ce concept a été utilisé pour l'étude des systèmes socioécologiques (Cretney, 2014; Béné, Newsham, Davies, Ulrichs et Godfrey-Wood, 2014), notamment ceux menacés par une dégradation et une éventuelle perte de capacité de récupération (Mumby et al., 2014). Toutefois, utiliser le concept de résilience dans le cadre d'une étude socioécologique se heurte à nouveau aux difficultés de l'interdisciplinarité : conceptuellement, cela demande d'avoir conscience des définitions parfois divergentes entre sciences sociales et écologiques pour pouvoir appliquer le concept et caractériser les liens entre variables écologiques et sociales (Downes, Miller, Barnett, Glaister et Ellemor, 2013). De plus, il est difficile de prendre en compte dimensions écologiques et sociales, car il n'existe pas d'indicateurs considérant les deux à la fois (Sterling et al., 2017). Il y a aussi peu d'avancées dans la quantification de l'interdépendance entre variables écologiques et socioéconomiques (Bodin et Tengö, 2012), ce qui rend difficile la modélisation des systèmes socioécologiques et l'application du concept de résilience, comme nous allons le voir à la section suivante.

1.4 Difficultés de la modélisation du concept de résilience

La résilience est un concept complexe et multidimensionnel, qui a été utilisé dans de multiples contextes, parfois conjointement avec les concepts de vulnérabilité (Gallopín, 2006) et de robustesse. La vulnérabilité peut être définie comme la susceptibilité d'un individu ou d'une population à être affectée par des stress ou des pressions extérieures (changements sociaux ou environnementaux) quand ils n'ont pas la capacité de s'adapter (Adger, 2006). La robustesse est la capacité d'un système à maintenir un état désirable malgré les fluctuations dans le comportement de ses composants (Mumby et al., 2014). Ces concepts se recoupent partiellement comme le soulignent Bruneau et al. (2003) pour qui les quatre caractéristiques de la capacité de résilience d'un système sont : la robustesse (capacité de supporter le stress sans souffrir de dégradation), la redondance (répétition d'un même trait, par exemple, le nombre de liens dans un réseau social ou trophique), la rapidité du système à se mobiliser pour retrouver un équilibre (capacité adaptative) et l'ingéniosité développée. En effet, diminuer la vulnérabilité revient en partie à augmenter la capacité adaptative du système (en opposition à augmenter sa résistance, ex. construction de digue dans des villes côtières), et donc sa résilience (De Lange, Sala, Vighi et Faber, 2010). De même, un système robuste sera plus résilient puisqu'il résiste mieux aux chocs externes (Urruty, Tailliez-Lefebvre et Huyghe, 2016).

La résilience d'un système est illustrée à la figure 1-1. Les traits noir et jaune représentent deux systèmes. Ces systèmes délivrent initialement les mêmes services ou sont dans le même état. Après un choc, ils perdent leur stabilité et entrent dans un état de vulnérabilité. Le système noir est aussi robuste que le système jaune (il résiste pendant la même période de temps à la perturbation), mais fait preuve d'une capacité adaptative plus grande puisqu'il revient à un état stable plus rapidement. On observe que les deux systèmes retrouvent des états de stabilité différents. Le système noir retrouve un état similaire à son état initial, quand le système jaune rejoint un état stable différent de son état initial. Les deux systèmes sont résilients puisqu'ils retrouvent une stabilité.

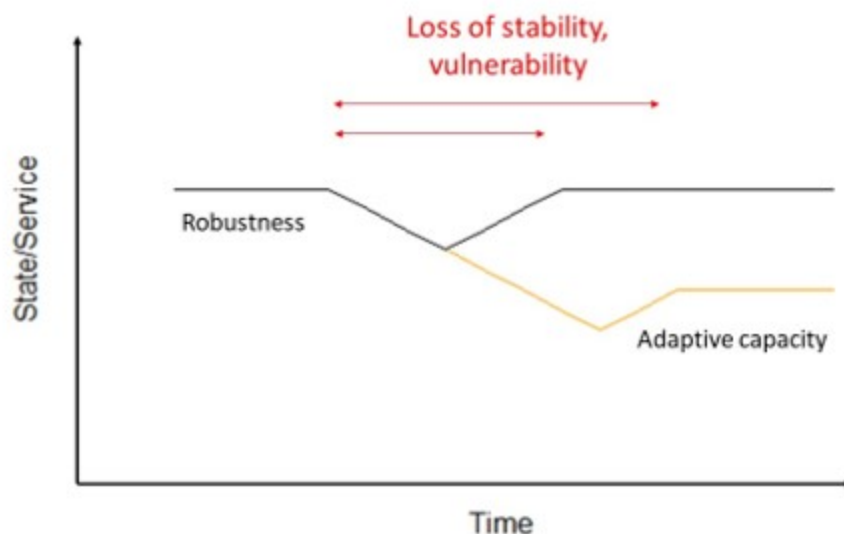


Figure 1-1 Composantes de la résilience (tirée de Mumby et al., 2014)

La résilience est donc un concept théorique qui permet de suivre la trajectoire d'un système. Son adaptabilité permet de prendre en compte des échelles et des paramètres différents, permettant ainsi de le conceptualiser dans le cadre de systèmes complexes comme les SES (Anderies et al., 2013), comme évoqué plus haut. Il a ainsi été utilisé pour évaluer la résilience de communautés face à des perturbations naturelles. Dans ce cadre, la résilience est considérée comme le retour du bien-être des populations à un niveau acceptable et la reconstruction des réseaux sociaux et d'infrastructures (Norris, Stevens, Pfefferbaum, Wyche et Pfefferbaum, 2008). Toutefois, le concept de résilience reste difficile à appliquer, notamment quand le système étudié n'est pas soumis à une perturbation majeure et quand il n'est pas possible de considérer l'état du système avant et après perturbation. Une des façons de procéder est alors d'étudier la capacité de résilience d'un système en identifiant des facteurs qui devraient permettre d'améliorer sa résilience, en cas de stress ou de perturbation. Cette approche permet aussi d'intégrer les dimensions écologiques, qui sont souvent peu traitées dans la littérature sur les SES (Rissman et Gillon, 2017) : les mesures sont souvent anthropocentriques et non objectives quant à l'état de l'environnement (comme chez Sterling et al., 2017 ou Leslie et al., 2015), avec un écosystème souvent uniquement intégré comme risque potentiel (ex. études sur les inondations, Kotzee et Meyers, 2016) ou comme ressource (Rissman et Gillon, 2017). Pour identifier ces facteurs de résilience, nous nous appuyons sur plusieurs cadres conceptuels qui proposent leur identification dans le contexte de la résilience communautaire et de la résilience des services écosystémiques.

1.5 Identification des facteurs de résilience

Norris, Stevens, Pfefferbaum, Wyche et Pfefferbaum (2008) proposent une identification des facteurs de la résilience communautaire. Celle-ci ne prend pas en compte le système naturel, mais est intéressante, car précise et complète en ce qui concerne le système social. Ils s'appuient pour cela sur une synthèse d'études de cas et assignent quatre grands domaines de ressources qui doivent permettre la résilience communautaire : (1) le développement économique (2) le capital social (3) le système d'information et de communication, et (4) la compétence communautaire. Pour eux, le développement économique (1) désigne le volume et la diversité des ressources économiques : plus elles seront importantes, diverses et équitablement distribuées, moins il y aura de vulnérabilité sociale. Le capital social (2) est défini comme la possibilité de mobiliser à travers ses réseaux sociaux toutes sortes de ressources. Il fait donc référence à la structure du réseau, aux liens dans la communauté et au support social disponible. Le système d'information et de communication (3) est aussi important, car il permet à la communauté d'être informée de la situation et d'adapter ses systèmes techniques et organisationnels. Enfin, la compétence communautaire (4) est vue comme la possibilité d'action et de processus de décision collectifs et efficaces, qui apparaîtront comme justes socialement. Les caractéristiques qui sont ici décrites par Norris, Stevens, Pfefferbaum, Wyche et Pfefferbaum (2008) rejoignent celles identifiées dans d'autres études : pour Adger (2000), la résilience économique est liée à la croissance économique, à la stabilité et à la distribution des revenus. Le concept de résilience communautaire surgit quand, en plus des facteurs de développement, sont considérés l'engagement des acteurs, leurs compétences communautaires (de mise en réseau) et l'équité de l'accès aux ressources (Magis, 2010).

Si ces caractéristiques générales s'appliquent aux systèmes sociaux, Biggs et al. (2012) soulignent différents facteurs pour conserver la résilience dans le cadre de la gestion de services écosystémiques. Ils développent sept principes applicables dans le cadre des SES. Nous nous intéresserons ici seulement aux trois premiers, qui concernent plus particulièrement les facteurs de résilience de l'écosystème. Les autres concernent le système social et rejoignent certains des principes exposés dans le paragraphe précédent. Ainsi, le premier facteur de résilience de l'écosystème est la diversité et la redondance. En effet, la diversité des éléments de l'écosystème (espèces, gènes, paysages, etc.) permet d'offrir une diversité de réponses en cas de perturbation. La redondance, quant à elle, assure la capacité d'éléments fonctionnellement similaires à se substituer partiellement les uns aux autres. Par exemple, si une espèce ne résiste pas à une perturbation à cause des nouvelles conditions, les fonctions qu'elle occupait dans l'écosystème seront perdues si une autre espèce n'en fournit pas de similaires. Le deuxième facteur de

résilience est la connectivité du système, qui désigne la façon dont les ressources et les espèces se déplacent et interagissent dans les paysages. La connectivité offre des liens vers les sources de rétablissement des écosystèmes (par exemple, recolonisation de zones perturbées par certaines espèces). Enfin, le troisième facteur de résilience inclut les variables lentes, c'est-à-dire les variables changeant lentement et pouvant être considérées comme constantes (ex. concentration en nutriments du sol). Elles sont importantes, car elles structurent l'écosystème et sont souvent liées à des services écosystémiques de régulation (de maladies, de niveau d'eau, etc.). Les boucles de rétroaction entre ces variables et des variables « rapides » (comme les précipitations) créent les dynamiques de l'écosystème considéré.

Des facteurs de résilience ont aussi été spécifiquement identifiés dans le cadre des agroécosystèmes, c'est-à-dire des écosystèmes cultivés (systèmes productifs) qui peuvent être étudiés en tant que systèmes socioécologiques. Au niveau de la parcelle, on reconnaît des facteurs de résilience proches de ceux mentionnés dans le cadre de la conservation des services écosystémiques, tels que (1) la diversité (qui a un rôle de « police d'assurance » en proposant des fonctions diversifiées et des réponses différentes aux perturbations) (2) la connectivité (de la parcelle, mais aussi du réseau de producteurs) et (3) une autorégulation (fonctionnement de la parcelle reposant alors sur les cycles écologiques, et non sur les intrants chimiques) (Cabell et Oelofse, 2012). La durabilité et la résilience des agroécosystème seraient donc fortement liées aux pratiques de gestion, qui définissent l'intensité des cultures et la gestion des ressources (Koochafkan, Altieri et Gimenez, 2012) et permettent ou non de maintenir les facteurs de résilience identifiés ci-dessus.

1.6 Pauvreté et résilience

Comme nous l'avons vu précédemment, le développement économique est un des facteurs de résilience (Norris et al., 2008). Considérer la pauvreté dans le cadre de l'étude des facteurs de résilience est donc pertinent. La pauvreté est une notion complexe, qui a de nombreuses approches et a été définie dans de multiples perspectives : monétaire (déficit de revenus qui ne permettent plus l'accès aux biens et aux services de base, ex : mesure de ligne de revenus de base), approches par les capacités (accès à certaines capacités minimales permettant à l'individu de faire librement des choix) ou par l'exclusion sociale (processus de privation et de marginalisation) (Laderchi, Saith et Stewart, 2003). Ces approches sont complémentaires et permettent de saisir la multidimensionnalité de la pauvreté, à la fois monétaire et subjective (Gaiha, 1993). La mesure utilitariste de la pauvreté contient une part de jugement de ce qui

serait un « bon développement ». La coupler à des indicateurs de perception permet d'avoir une vision plus large de la façon dont les populations vivent leur situation économique (Kingdon et Knight, 2006).

Toutefois, si Béné et al. (2014) soulignent que le concept de résilience peut offrir certains avantages dans l'analyse de pauvreté en offrant une approche multi-échelle et systémique qui prend en compte les différents types de chocs, la notion de résilience ne capture pas l'ensemble des dynamiques sociales, dont celles de pouvoir. De plus, la résilience est un concept neutre, qui n'a pas d'objectif normatif (tendre vers une meilleure situation globalement et de meilleures conditions de vie). Ainsi, un ménage peut devenir plus résilient, mais demeurer pauvre, voire aggraver sa situation. C'est pour cela qu'il est intéressant de prendre en compte la pauvreté dans notre étude et attester de la situation socioéconomique, tout en considérant des notions de durabilité et résilience.

Comme pour la résilience, il est possible d'identifier des déterminants de la pauvreté. Les ménages peuvent posséder différents types de patrimoine qui vont influencer leur situation : (1) patrimoine naturel (ex. accès à une terre) (2) patrimoine humain (ex. éducation, nombre de travailleurs adultes dans le ménage) (3) patrimoine institutionnel (ex. accès au crédit, programmes gouvernementaux) et (4) patrimoine social (ex. appartenance à une communauté) (De Janvry et Sadoulet, 2000). Selon ces auteurs, le contexte régional est également important (ex. localisation avec différentes opportunités de revenus). Il est nécessaire de prendre en compte l'ensemble de ces facteurs dans la conception d'un modèle qui propose une interprétation de la pauvreté.

1.7 Synthèse

Face aux problèmes environnementaux et sociaux que posent les modèles agricoles favorisés par la Révolution Verte, des systèmes productifs durables doivent être mis en place. Des courants comme l'agroécologie ou l'agroforesterie s'inscrivent dans la perspective de ces systèmes durables, et proposeraient des alternatives plus résilientes aux modèles agricoles industrialisés. Toutefois, pour s'assurer de cette durabilité, il est nécessaire de comprendre le fonctionnement de ces systèmes, qui sont complexes, car composés à la fois de systèmes sociaux et écologiques possédant des dynamiques non linéaires, difficiles à conceptualiser. Un des cadres conceptuels permettant de mieux représenter cette complexité et les relations entre systèmes sociaux et écologiques est celui des systèmes socioécologiques. Il prend en compte plusieurs dimensions, comme le système et les unités de ressources, les acteurs et le système de gouvernance.

Le présent mémoire s'intéresse ici à la notion de résilience des systèmes socioécologiques. Le concept de résilience a beaucoup évolué, à travers le temps et les disciplines, et s'applique particulièrement bien aux systèmes socioécologiques, par sa relation avec les notions d'adaptabilité et de complexité. Il semble primordial de construire des méthodes d'évaluation de la résilience qui comprennent à la fois les écosystèmes et les populations qu'ils supportent, notamment dans les zones a priori vulnérables. Dans ces zones, la pauvreté est à prendre en compte pour s'assurer de l'équité de la répartition des revenus.

Se pose alors la difficulté de l'application du concept de résilience dans une étude de cas : la résilience est en effet difficile à définir et à repérer, quand le système d'étude n'est pas soumis à une perturbation majeure permettant une comparaison de son état avant/après. Il demeure toutefois possible d'identifier des facteurs de résilience, c'est-à-dire des éléments du système qui favoriseraient la résilience. Ainsi, Norris et al. (2009) définissent les quatre facteurs de la résilience communautaires comme étant (1) le développement économique (dont l'absence de pauvreté) (2) le capital social (3) le système d'information et de communication, et (4) la compétence communautaire. Biggs et al. (2012) identifient trois facteurs écologiques principaux pour conserver le bon fonctionnement des services écosystémiques : (1) la diversité (2) la connectivité du système et (3) les variables lentes du système. De plus, dans le cas de l'étude d'un système agricole, les pratiques de gestion sont à considérer, car ce sont elles qui déterminent l'impact humain sur l'écosystème et la durabilité de l'exploitation agricole (Anderies et al., 2013).

L'identification des facteurs de résilience est une première étape afin d'élaborer des politiques publiques qui permettent de renforcer la capacité de résilience et de concevoir des moyens d'assurer un développement plus durable. Pour cela, davantage d'études interdisciplinaires sont nécessaires (Brown et Westaway, 2011), en déterminant précisément les variables du système socioécologique et les notions de résilience qui sont utilisées. En effet, si l'étude des systèmes socioécologiques est de plus en plus développée, il reste encore à affiner les méthodes prenant à la fois en compte les dimensions socioéconomiques et écologiques, notamment dans l'évaluation de la résilience des systèmes.

2 OBJECTIFS

L'objectif principal du mémoire est d'évaluer les facteurs influençant la capacité de résilience écologique et économique, en s'appuyant sur l'étude de cas d'un système agroforestier de cacao dans la région du Soconusco. Pour cela, nous cherchons à :

- Évaluer les facteurs influençant la capacité de résilience économique des ménages de petits producteurs de cacao, en utilisant une approche monétaire et subjective de la pauvreté;
- Évaluer les facteurs influençant la capacité de résilience des parcelles agroforestières de cacao, en observant les déterminants écologiques de la productivité de la parcelle;
- Déterminer les facteurs socioécologiques qui exercent une influence sur la capacité de résilience du système d'étude.

Ainsi, le mémoire contribue à l'étude interdisciplinaire des systèmes productifs, en étudiant à la fois leur relation avec le bien-être et le niveau de revenus des producteurs et leur famille, et le fonctionnement de l'écosystème agroforestier. Par cet objet d'étude, ce travail s'inscrit dans une démarche de développement durable, en prenant en compte à la fois les éléments sociaux, économiques et environnementaux. L'ensemble des objectifs et hypothèses de travail qui les sous-tendent sont résumés dans le tableau 2-1.

Tableau 2-1 Objectifs et hypothèses

Sous-objectif	Prédiction
<p>Sous-objectif 1 : résilience économique</p> <p>Évaluer les facteurs influençant la capacité de résilience économique des ménages, en utilisant une approche monétaire et subjective de la pauvreté afin de prendre en compte la multidimensionnalité de la pauvreté.</p>	<p>Les ménages ayant une diversité de revenus (agricoles et externes) plus grande et utilisant la coopérative comme moyen de vente (système de gouvernance) auront de plus hauts revenus. Le contexte géographique est également important, avec les ménages plus riches lorsqu'ils sont plus proches du centre urbain et situés en plaine.</p> <p>De plus, nous nous attendons à trouver des déterminants classiques du revenu, tels que le capital (éducation, possession de terres, animaux). Les ménages en possédant davantage auront plus de revenus.</p>
<p>Sous-objectif 2 : résilience écologique</p> <p>Évaluer les facteurs influençant la capacité de résilience des parcelles agroforestières de cacao, en observant les déterminants écologiques de la productivité de la parcelle (en tonnes par hectare par an).</p>	<p>Les parcelles plus diversifiées, situées dans la matrice forestière (meilleure connectivité) et contenant plus de biomasse (meilleure régulation du système) sont plus productives.</p>
<p>Sous-objectif 3 : résilience socioécologique</p> <p>Déterminer les facteurs du système socioécologique reliés à la capacité de résilience du système d'étude.</p>	<p>Nous nous attendons à ce que certains éléments soient communs aux modèles des sous-objectifs 1 et 2 (ex. localisation par la connectivité du paysage et des institutions) ou soient indirectement liés (ex. taille de la parcelle et âge du propriétaire, montrant l'évolution du régime foncier), traduisant l'interdépendance des variables écologiques et économiques. Ces éléments devraient alors apparaître plus fortement dans le modèle socioécologique.</p>

3 DESCRIPTION DU SYSTÈME D'ÉTUDE

Nous nous attachons ici à définir et à contextualiser le système d'étude sur lequel se concentre le mémoire de recherche. Cette partie décrit la région d'étude, à travers ses contextes écologiques et socioéconomiques, détermine les particularités de la culture du cacao, puis présente le cadre spécifique de l'étude.

3.1 Région d'étude

Les caractéristiques de la région dans laquelle a lieu l'étude sont présentées ci-dessous, à travers une description du contexte géographique et écologique, puis socioéconomique.

3.1.1 Contexte géographique et écologique

La zone d'étude se situe dans le Soconusco ($15,347\ 353^{\circ}$ $-92,594\ 231^{\circ}$; $14,962\ 299^{\circ}$ $-92,187\ 452^{\circ}$; $15,102\ 219^{\circ}$ $-92,738\ 864^{\circ}$; $14,716\ 284^{\circ}$ $-92,378\ 9^{\circ}$), au sud-ouest du Mexique, à la frontière du Guatemala, dans l'état du Chiapas (figure 3-1 et 3-2). Elle a une taille de 80 km (le long de l'océan Pacifique), sur 35 km (le long de la frontière avec le Guatemala) et comprend les zones de basse altitude de la région du Soconusco.

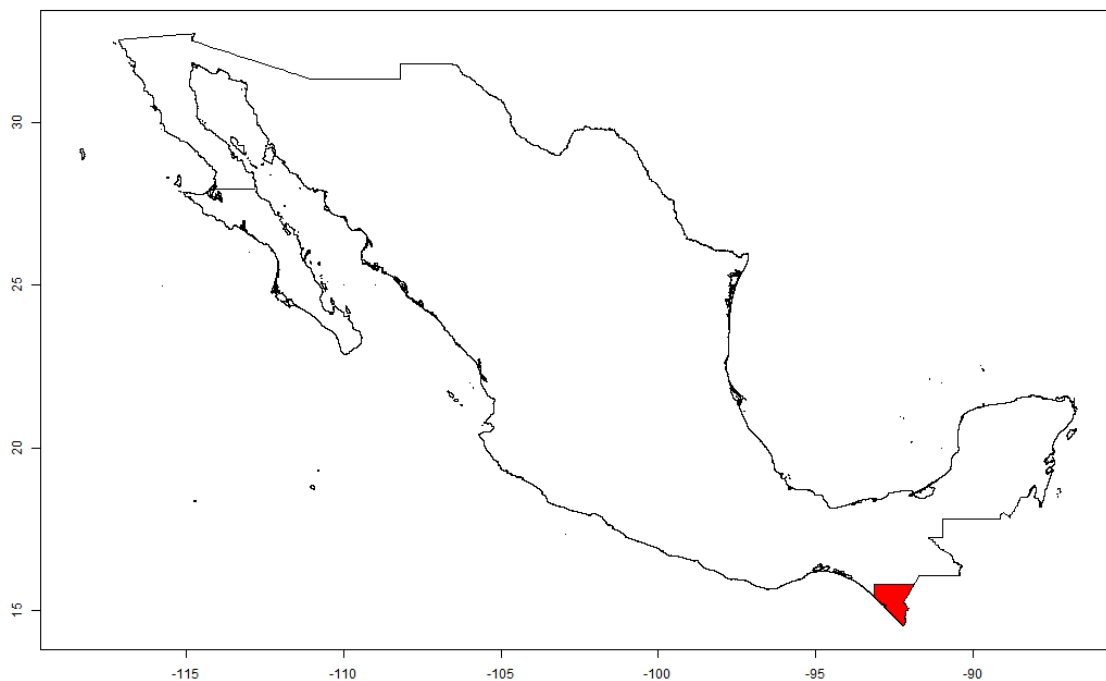


Figure 3-1 Localisation de la région du Soconusco (état du Chiapas, Mexique)

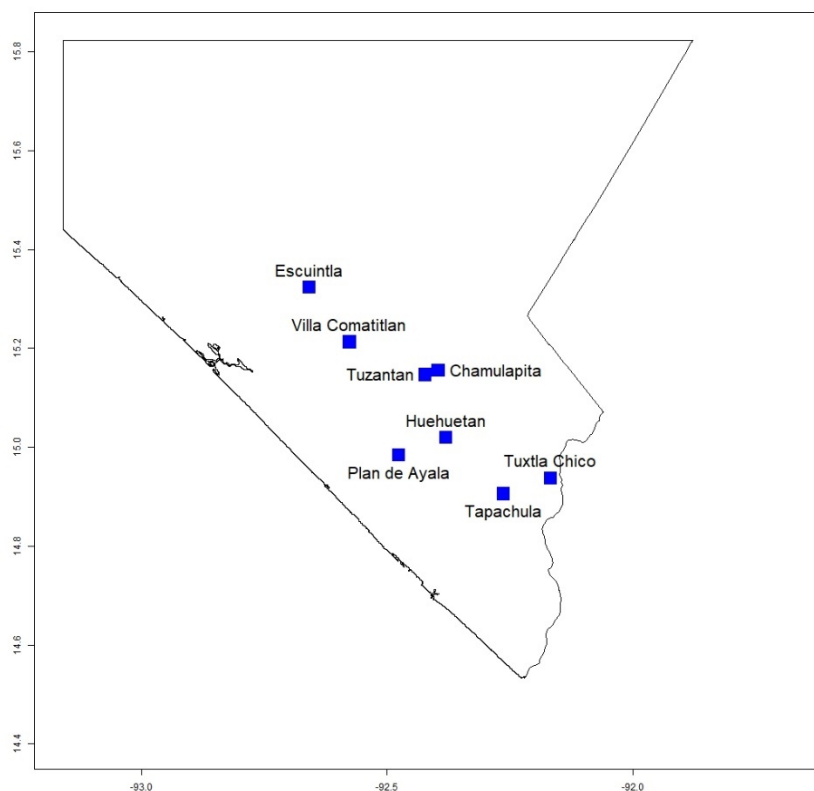


Figure 3-2 Principales communautés de la zone d'étude au sein de la région du Soconusco

Le climat prédominant est chaud et humide, avec une saison des pluies qui va de mai à octobre, durant lesquels près de 90% des précipitations pluviales sont concentrées. Les précipitations moyennes annuelles sont de 2650 mm dans la région. Les températures moyennes annuelles varient de 22,5 à 28,5 degrés. . Une étude effectuée sur des séries entre 1960 et 2010 révèle une tendance à la diminution de la pluviométrie dans le Soconusco. (Escalante-Sandoval et Amores-Rovelo, 2014)

La région est divisée entre plaines côtières, au sol profond, et les sierras, au sol volcanique et métamorphique. Le point le plus haut culmine à 4080 mètres, mais le rang altitudinal de notre zone d'étude est compris entre 50 et 300 mètres. Environ la moitié des terres est utilisée pour l'agriculture et 25 % pour le pâturage. La région du Soconusco possède six réserves écologiques, dont trois étatiques. (Gobierno del Estado de Chiapas, s. d.)

On distinguera deux paysages dans la région d'étude, un paysage étant une portion du territoire composé d'écosystèmes en interaction (Forman et Godron, 1986). Dans la zone d'étude, le premier paysage

correspond à la plaine côtière. Sa matrice est agricole, composée majoritairement de monocultures et de pâturages. Le second paysage correspond à la zone de piémont des sierras, dont la matrice est forestière, et formée principalement de parcelles agroforestières et de forêts secondaires matures. Considérer ces deux paysages est nécessaire, puisque nous avons vu plus tôt que la connectivité est importante à prendre en compte dans la capacité de résilience d'un écosystème. Nous considérons les éléments arborés dans la matrice agroforestière mieux connectés que dans la matrice agricole (voir figure 3-3).

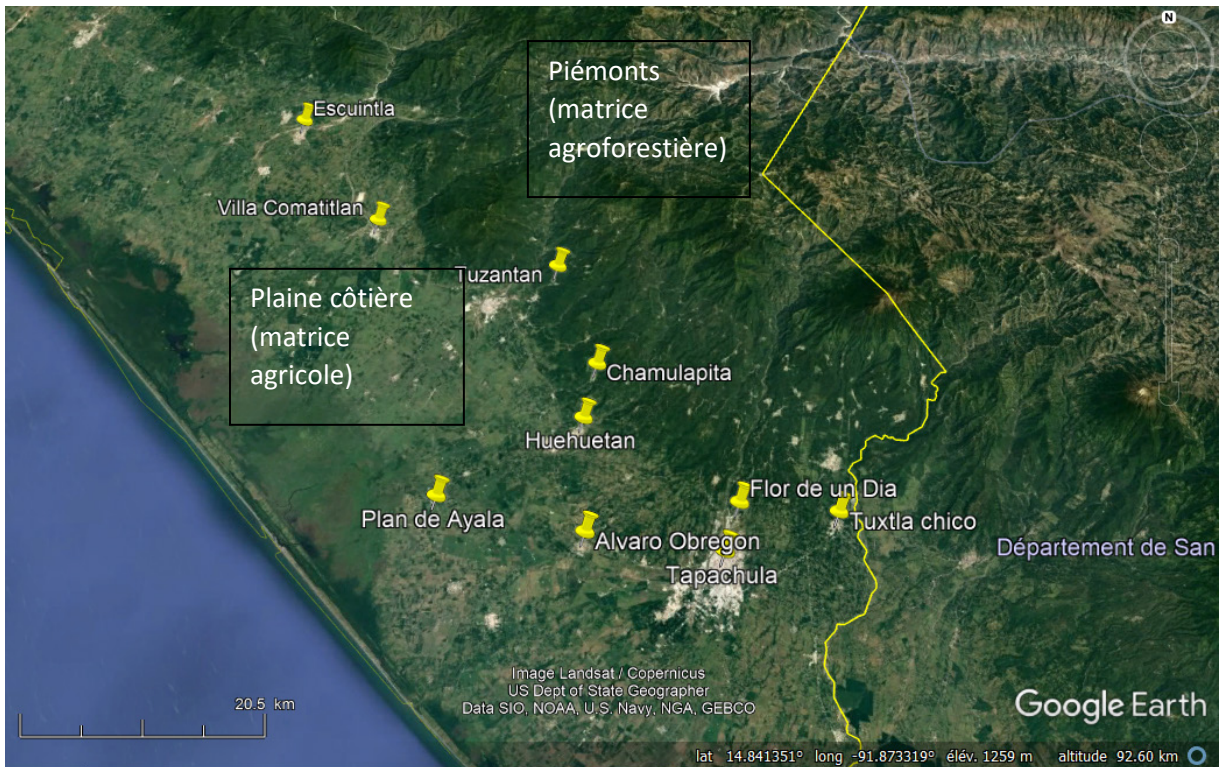


Figure 3-3 Aperçu topographique de la région d'étude avec l'emplacement des principaux municipes et ejidos d'étude

Les caractéristiques de ces deux paysages sont résumées dans le tableau 3-2.

Tableau 3-1 Caractéristiques de deux paysages distingués dans la zone d'étude

	Localisation	Matrice ¹	Composants principaux	Connectivité forestière
Paysage 1	Plaine	Agricole	Monocultures, pâturage	Faible

¹ La matrice est l'élément dominant d'un paysage, caractérisé par une certaine uniformité d'occupation des sols (Forman et Godron, 1986).

Paysage 2	Piémonts	Agroforestière	Parcelles agroforestières, forêts secondaires	Forte
-----------	----------	----------------	--	-------

3.1.2 Contexte socioéconomique

Le Chiapas a été intégré au Mexique lors de la délimitation des frontières avec le Guatemala en 1902 (Lajous, 2012). La situation du Soconusco est particulière au sein du Chiapas. Lors de l'époque prérévolutionnaire, il a eu un développement économique plus rapide que le reste de la région, notamment grâce à la production de produits exportables (essentiellement banane et café) (Paniagua, 1983) et à la bonne accessibilité de ses ports. Aujourd'hui, l'exportation agricole demeure le secteur principal de l'économie du Soconusco, malgré le développement de l'industrie (majoritairement la production de biens de consommation dans les zones économiques prioritaires, comme à Puerto Chiapas) qui a encouragé l'exode rural et les migrations (Santacruz de León et Pérez Villalba, 2009).

Le Soconusco comptait 710 716 habitants en 2010 (soit 14,8 % de la population de l'État de Chiapas). Un peu plus de 8 000 personnes étaient alors recensées comme appartenant à la communauté maya *mam*. Tapachula est la principale ville, avec près de la moitié de la population de la région y vivant. Dans le Chiapas, plus de la moitié de la population est active (54,5% en 2017). Environ 70 000 personnes travaillent dans l'agriculture (soit 27 % de la population active). (INEGI, 2017) En 2016, 77,1 % de la population était en situation de pauvreté (ligne de pauvreté basée sur le prix d'un panier alimentaire et non alimentaire) et 28,1 % en situation de pauvreté extrême (ligne de pauvreté extrême basée sur le prix d'un panier alimentaire) (CONEVAL, 2016). Le taux d'analphabétisme y est beaucoup plus bas que la moyenne du Chiapas, avec 7,4 % contre 17,8 % (INEGI, 2017).

Comme le reste du Mexique, les municipes du Soconusco sont subdivisés en *ejidos*. Le Soconusco est formé de 15 municipes (Gobierno Mexicano, 2010). Le régime des *ejidos*, différent de la propriété privée, est une conséquence de la Révolution mexicaine (1910-1920). Un *ejido* consiste en une portion de terre dont l'usufruit est permis par le gouvernement et attribué à un groupe de personnes (mexicaines et majeures). Ces personnes, dotées de droits agraires, s'organisent en Assemblée *ejidale* pour s'occuper collectivement de la gestion des terres. Les décisions de l'Assemblée *ejidale* (ensemble des membres de l'*ejido*) sont exécutées par le Commissariat *ejidal* (composé d'un président, d'un trésorier et d'un secrétaire élus pour trois ans), lui-même surveillé par le Conseil de sécurité (composé de trois membres

et trois suppléants élus pour les trois mêmes années). (Calvo Blanco, 2018) Depuis la réforme agraire de 1992 qui a facilité le parcellement formel des *ejidos* pour un usage individuel, la plupart des terres sont d'usage individuel, mais quelques-unes demeurent d'usage collectif ou d'usage mixte (collectif et individuel) (Herrejón, 2007). Dans le Chiapas, la superficie moyenne des terres par ejiditario est de 16 hectares (Tarrío García et Concheiro Bórquez, 2006).

3.2 Culture du cacao

Des traces de la culture du cacao (*Theobroma cacao* L.) datant d'il y a plus de 5000 ans ont été retrouvées en Amérique centrale (Zarrillo et al., 2018). Dans la région du Soconusco, cette culture serait présente depuis près de 4000 ans (Powis et al., 2007). Le Mexique représente aujourd'hui 2,5 % de la production de cacao mondiale. La majorité de la production se situe dans le Tabasco (état du Sud-Est), mais environ 30 % de la production provient du Chiapas (Cacao México, 2009).

3.2.1 Caractéristiques agronomiques

Le cacao est un arbre à feuilles persistantes atteignant une hauteur d'une quinzaine de mètres (Charvet, 2013). Il fait donc partie du sous-bois. Les fleurs sont hermaphrodites et mesurent de 10 à 20 mm de diamètre, avec des sépales blancs ou rosacés et des pétales jaunâtres, pour une tige de 1 à 3 cm de longueur. Elles s'attachent sur le tronc de l'arbre, par grappe d'une dizaine de fleurs. Le fruit est une cabosse sillonnée, pouvant varier de couleur (jaune, rouge, vert, etc.), qui possède cinq rangées de graines couvertes de pulpe (mucilage) et met cinq à sept mois à mûrir. (Arvelo, González León, Delgado, Maroto et Montoya López, 2017). Il y a deux périodes principales de fructification, qui correspondent à deux périodes de récolte en mars-avril et en septembre-octobre (Avendaño Arrazate et al., 2011). Des photos d'un cacaotier et de ses fleurs sont présentées à la figure 3-4.



Figure 3-4 Photos d'un cacaotier et des fleurs de cacao

C'est une plante tropicale d'ombre, traditionnellement cultivée sous couvert forestier (système agroforestier) (figure 3-5). Il s'agit alors d'une polyculture (culture simultanée de plusieurs produits sur une même parcelle), composée de cacaotiers et des espèces d'ombre poussant au-dessus. Les espèces d'ombre comprennent principalement des espèces fruitières (ex. *Mangifera indica*, *Persea americana* Mill) et des espèces dont le bois est commercialisable (ex. *Cedrela odorata*, *Aspidosperma desmanthum*). La liste complète des espèces rencontrées dans la région d'étude lors des visites des parcelles est disponible à l'Annexe 1. Le cacao pousse à des températures moyennes annuelles comprises entre 23 et 29 °C, et des précipitations de 1 500 à 2 500 mm et même jusqu'à 4 000 mm si le drainage est bon. Au Mexique, le cacao peut pousser sur des sols d'une profondeur de 0,60 mètre, mais il préfère des sols plus profonds, avec un bon drainage et une bonne fertilité, ainsi qu'un haut pourcentage de matière organique (au moins 3 %) pour que les racines puissent se distribuer facilement (racine principale pouvant s'enfoncer de 80 à 150 cm) (Arvelo et al., 2017).



Figure 3-5 Schéma d'un système agroforestier de cacao

3.2.2 Variétés

Il existe trois grands groupes de cacao couramment utilisés pour les classer : criollo (originaire du bassin supérieur de l'Amazonie avec deux branches distinctes, le criollo centraméricain et sud-américain), forastero (originaire d'Amazonie) et trinitario (originaire de Trinidad et Tobago, hybride du forastero et criollo sud-américain) (López Mendoza, 1987). Au Mexique, dans le Soconusco, on trouve du cacao trinitario et criollo (Van der Kooij, 2013). Les « criollos » ont de fortes propriétés gustatives et sont utilisés pour le chocolat de haute qualité. Toutefois, par leur susceptibilité aux maladies et leur faible productivité, ils ne dominent plus le marché. Les « forastero » sont les plus communs. Il semblerait que la diversité génétique de cette population soit faible et dépende d'un seul sous-type (cacao forastero, dit « amelonado »). Ces catégories ne reposent pas sur une réalité génétique, mais sur la dénomination utilisée par des producteurs vénézuéliens, qui a ensuite été reprise plus globalement. (Arvelo et al., 2017)

3.2.3 Travail du cacao

Le travail sur la parcelle pour obtenir le cacao contient de nombreuses étapes. Tout d'abord, l'élagage consiste à enlever ou à élaguer les branches inutiles, les parties malades ou mortes de l'arbre. Cela permet de conserver la forme de l'arbre (entonnoir) et de limiter sa hauteur à 3 m. C'est une étape importante pour améliorer la ventilation de la parcelle et l'entrée de lumière. Cela fait partie de la gestion de l'ombre sur la parcelle, avec la sélection des espèces qui serviront d'ombre aux cacaotiers. (Lutheran World Relief, 2013) Le désherbage au sol est également important pour permettre le travail sur la parcelle. Concernant

les fruits du cacao, certains producteurs appliquent des traitements dès l'apparition des premières fleurs, mais les parcelles étudiées ici sont biologiques. L'unique produit qui est utilisé est de la chaux (parfois de la cendre) répandue au pied des arbres et sur les cabosses coupées infectées par la moniliose (*Moniliophthora roreri*) (voir paragraphe 3.2.4), pour limiter son extension. Une fois que les cabosses sont mûres, elles sont coupées. Elles arrivent rarement à maturité toutes en même temps sur la parcelle et sont récoltées au fur et à mesure. Dans la région d'études, les producteurs utilisent des machettes ou des couteaux attachés à une fourche, pour atteindre les branches les plus hautes. Les cabosses cueillies sont ensuite ouvertes sur la parcelle et les graines extraites sont mises en sac. Les cabosses vides sont laissées sur la parcelle et serviront d'engrais. Il est important de ne pas récolter les cabosses malades ou trop mûres, car elles peuvent ensuite nuire aux processus de transformation du cacao. Dans la population d'étude, on trouve un gradient d'intensité de pratiques de gestion sur les parcelles, que ce soit dans le choix du couvert forestier (plus ou moins diversifié), dans la densité des arbres de cacao et dans le contrôle de la moniliose. Ce gradient est détaillé dans la section 5.1.3 à partir des données collectées lors des entretiens socioéconomiques et des visites des parcelles.

Il existe ensuite plusieurs façons de transformer le cacao pour le rendre commercialisable. La fermentation du cacao est le processus de transformation du produit le plus complexe et celui qui permet d'obtenir une qualité supérieure. La fermentation est effectuée dans des caisses de bois couvertes de feuilles de bananiers (figure 3-6). Ces caisses ont une grandeur d'environ 1m², avec une base percée de petites ouvertures et maintenue au-dessus du sol (entre 10 et 15 cm) pour laisser le liquide s'évacuer. La fermentation s'exécute par transformation des sucres de la pulpe en eau, alcool éthylique et acide acétique. L'acide acétique pénètre ensuite dans l'enveloppe et produit des réactions biochimiques qui sont responsables de la saveur de chocolat. La fermentation dure de 5 à 6 jours, avec les grains qui sont remués tous les jours à la même heure, après les 36 premières heures passées en anaérobiose. (Buchert, s. d.) L'étape suivante est le séchage. Il dure environ 3 jours et s'effectue en plein soleil (5 à 6 heures par jour, avec les grains remués régulièrement, toutes les deux ou trois heures). Cette étape permet de diminuer l'humidité jusqu'à un taux de 7 % environ. Ainsi, on distingue le cacao fermenté, qui suit l'ensemble des étapes décrites précédemment, du cacao lavé, qui n'est pas fermenté, mais séché directement au soleil après avoir été rincé à l'eau. Les amandes obtenues pour un cacao lavé ont une couleur plus claire et rosée, contrairement aux amandes du cacao fermenté qui ont une couleur café. Elles ont aussi une odeur et une saveur moins fortes.



Figure 3-6 Caisses de fermentation du cacao, encore non recouvertes de feuilles de bananier

3.2.4 Situation actuelle

La production mexicaine de cacao a chuté de près de moitié entre 2001 et 2011, en grande partie à cause du manque de modernisation et de contrôle sur les maladies (Van der Kooij, 2013). En particulier, un des problèmes récents les plus importants pour la production est la moniliose. Les cabosses infectées par les spores de ce champignon se couvrent alors de taches brunes et de chancres (figure 3-7), en trois à cinq jours, et les grains deviennent inutilisables (fèves nécrosées et compactées) (Vanegtern, Rogers et Nelson, 2015). La sensibilité au champignon décroît avec l'âge des cabosses. Les cabosses sont infectées par les spores (dissémination par le vent) qui demeurent viables plusieurs semaines. (End, Daymond et Hadley, 2014) Il existe des variétés résistantes à la moniliose, dont certaines sont utilisées dans le Soconusco (Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural, 2018). Aucune n'est présente dans notre système d'étude, car la coopérative dont font partie les producteurs cherche à conserver les variétés traditionnelles de cacao (cacao criollo).



Figure 3-7 Cabosse de cacao atteinte de moniliose (tache brune)

La crise de la moniliose au Mexique a débuté en 2005 (Phillips-Mora et Wilkinson, 2007) et a détruit une grosse partie des récoltes (diminution de 60 % de la production au Mexique en moyenne, mais des pertes pouvant atteindre 80 % par parcelle) (Orea et al., 2017). Dans le Soconusco, la production a aussi diminué pour cette raison, ainsi qu'à cause d'arbres trop âgés et peu productifs (McNeil, 2009). Cela a eu un fort impact sur la situation socioéconomique des producteurs et leur capacité à faire face à la crise (pas de renouvellement des plants peu productifs, etc.) (Hernández-Gómez et al., 2015). Le paysage a changé, avec le couvert forestier peu à peu détruit par coupes sélectives (Périchon et Quique, 2013). Ce phénomène s'explique par les différentes stratégies d'adaptation évoquées par les producteurs : coupe totale du cacao (remplacé par du café ou des cultures de rente comme le palmier à huile ou les bananes) ou coupe partielle en association avec de nouvelles cultures (stratégie de diversification, ex. avec du café) (Périchon et Quique, 2013). La présence de moniliose se traduit par une forte augmentation de la charge de travail sur la parcelle, avec la nécessité de repérer et couper les cabosses infectées et les couvrir, suffisamment tôt pour éviter la propagation à d'autres arbres (Krauss, Steuten, Adonijah et Holmes, 2006). La concurrence internationale, notamment africaine, est aussi un problème pour permettre à la production de se relancer (Díaz-José, Díaz-José, Mora-Flores, Rendón-Medel et Tellez-Delgado, 2014).

Il faut noter que le cacao criollo, de haute qualité (« saveur fine ») et représentant seulement une petite partie de la production mondiale, semble connaître une nouvelle impulsion au Mexique (Van der Kooij, 2013). Le marché est cependant toujours dominé (à 55 %) par de grandes compagnies telles que Nestlé, la Corona, la Azteca S.A, qui achètent du cacao à bas prix et de mauvaise qualité. Le reste (45 %) est consacré à l'exportation avec des marchés qui demandent une meilleure qualité, situés principalement aux États-Unis et en Europe (SAGARPA et Universidad Autónoma de Zacatecas, 2015). Le prix de ce cacao est plus élevé (de 23% en moyenne) par rapport aux grandes industries traitant le cacao (CEPAL, 2017).

3.3 Étude de cas

Cette section présente les caractéristiques de l'étude de cas, puis comment elle s'inscrit dans le cadre conceptuel des systèmes socioécologiques.

3.3.1 Description de l'étude de cas

L'étude de cas a été réalisée en partenariat avec une coopérative d'agriculteurs de cacao, le Centre Agroécologique Saint-François d'Assise (CASFA). Depuis 2010, CASFA encourage la polyculture biologique de cacao aromatique (cacao criollo) dans la région. Cette coopérative regroupe aujourd'hui environ 250 familles de petits producteurs de cacao et vend sa production à des chocolateries fines européennes. La culture repose sur des principes agroécologiques et les producteurs doivent être certifiés « biologiques » selon les normes du *National Organic Program*, certification nord-américaine, pour appartenir à coopérative.

Il faut souligner que les formes de culture, et notamment la diversité des espèces sur les parcelles, sont plus ou moins développées selon les types d'exploitations et l'intensité de leur gestion. Ainsi, certaines parcelles ont un couvert forestier choisi par les producteurs et très restreint (une seule espèce éparse), quand d'autres présentent un couvert forestier diversifié, contenant des espèces fruitières, de bois, voire des espèces de forêt. Une classification des parcelles de cacao de la zone d'étude est présentée à la section 5.1.3. De plus, les modèles de gestion varient également (entretien plus ou moins intensif des arbres, utilisation d'irrigation ou non, etc.).

Le fonctionnement commercial de la coopérative et les autres débouchés de vente sont détaillés à la figure 3-8.

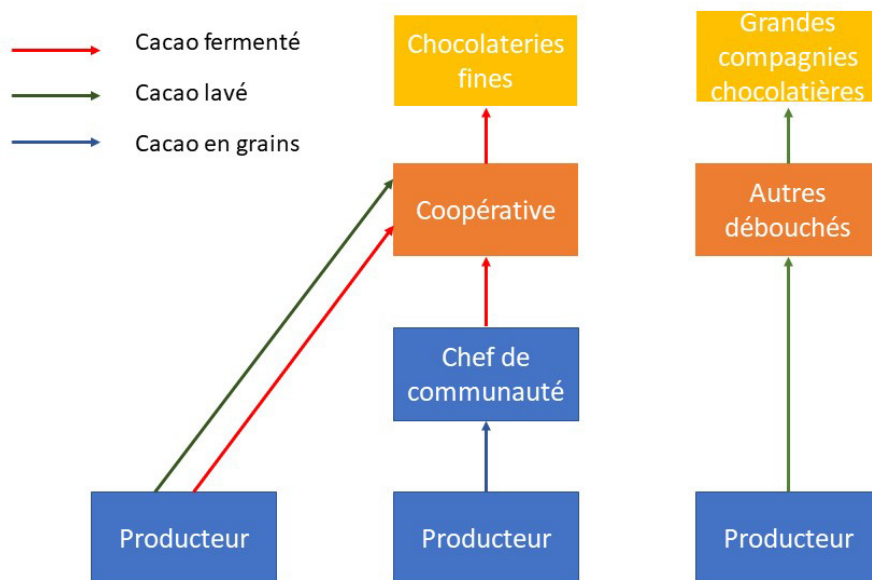


Figure 3-8 Description du fonctionnement commercial du modèle d'étude

La figure 3-8 représente les producteurs en bleus. Leurs débouchés directs sont en orange, qui vendent eux-mêmes les produits à des marchés nationaux ou internationaux (en jaune). Les flèches représentent la direction de vente. Les couleurs représentent sous quelle forme peut être vendu le cacao : en rouge le cacao fermenté, en vert le cacao lavé et en bleu le cacao frais en grains. On remarque que la coopérative achète du cacao fermenté et lavé. Le cacao frais est transformé par des producteurs-intermédiaires (« chef de communauté ») pour être ensuite vendu à la coopérative.

Dans les ejidos suffisamment grands, un chef de centre de collecte reçoit le cacao frais en grains des autres agriculteurs. Le prix d'achat varie, selon les endroits, entre 15 et 18 pesos mexicains le kilo (entre 0,96 et 1,24 dollar USD). Ce prix se base sur celui proposé par les « coyotes » (intermédiaires) dans l'ejido, majoré de deux pesos. Le chef de centre se charge des processus de fermentation et de séchage, puis la coopérative lui achète le cacao, à 65 pesos le kilo (4,48 dollars USD). Celle-ci envoie ensuite le cacao aux clients (en Europe, au Japon et en Amérique du Nord). Dans les petits ejidos possédant peu de producteurs, ceux-ci fermentent eux-mêmes leur cacao et le vendent directement à la coopérative (65 pesos mexicains le kilo, soit 4,48 dollars USD). La coopérative achète de temps en temps du cacao lavé, lors de commandes spécifiques (environ 30 pesos le kilo, soit 2,07 dollars USD).

D'autres producteurs font le choix de ne pas vendre le cacao à la coopérative, mais à d'autres intermédiaires, appelés « coyotes », parfois plus accessibles et moins exigeants en ce qui concerne la

qualité. En effet, dans la région du Soconusco, il existe peu d'organisations de producteurs. La majorité du marché est occupée par des « *coyotes* » qui proposent des prix extrêmement bas pour le cacao (entre 10 et 15 pesos mexicains le kilo, selon l'offre disponible, pour du cacao frais en grain, soit entre 0,68 et 1,24 dollar USD). Ils le revendent ensuite à des industries, telles que les grands groupes exploitants cités plus haut, dans de grands marchés de vente en gros comme à Guadalajara. Ils se font une marge importante et achètent le cacao au même prix, qu'il soit issu de la production biologique ou conventionnelle, sans tenir compte du travail supplémentaire pour le producteur. (Henderson, 2017)

Des producteurs ont fait le choix de se tourner vers les « *coyotes* », car le système de la coopérative a montré des défaillances dans les dernières années avec de forts délais de traitement des paiements et une absence de visite de la part des ingénieurs en charge du suivi dans certaines communautés éloignées. Il serait pour eux possible de vendre une partie de leur récolte à la coopérative et l'autre à des intermédiaires, mais cette situation ne s'est pas trouvée dans l'échantillon des ménages interrogés.

3.3.2 Application du cadre conceptuel des systèmes socioécologiques à l'étude de cas

Le projet de recherche s'inscrit donc dans le cadre conceptuel des systèmes socioécologiques, qui peut être appliqué à l'étude de cas (figure 3-9). Les principaux acteurs du système étudié sont les ménages, ainsi que les débouchés de vente (coopérative CASFA et autre intermédiaire). Les systèmes de gouvernance proviennent des différents marchés (qualité des produits, prix). La coopérative dispose également d'un cahier des charges, qui participe au système de gouvernance (culture biologique, variétés cultivées). Le système de ressources est composé des conditions environnementales, des formes de culture et des autres sources de revenus. L'éventuelle transformation du cacao après récolte (cacao lavé ou fermenté) fait également partie du système de ressources. Les unités de ressources sont les unités de produits issus de la culture, ainsi que les revenus éventuellement issus d'autres occupations. L'ensemble de ces caractéristiques sera pris en compte dans la définition des déterminants de la capacité de résilience écologique et économique.

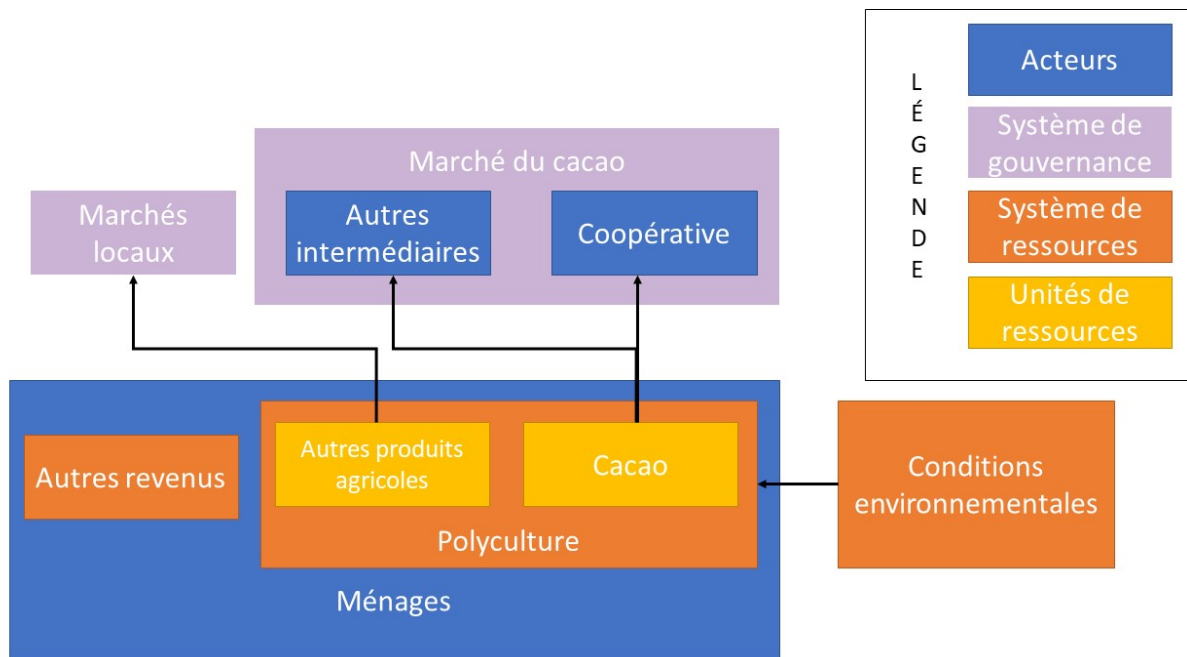


Figure 3-9 Cadre conceptuel des systèmes socioécologiques appliqué au système d'étude (adapté de McGinnis et Ostrom, 2014 b)

Les composants du système socioécologique sont désignés par différentes couleurs. Les flèches représentent les liens entre unités de ressources et acteurs (vente) ou entre systèmes de ressource (influence). Les actions des acheteurs sont encadrées par un système de gouvernance (lois, certifications, etc.). Ainsi, le mémoire s'inscrit dans ce contexte géographique, économique, social et institutionnel, qui sera pris en compte dans l'analyse de la situation et de la capacité de résilience des ménages et de l'écosystème, tel que décrit dans les parties suivantes.

4 MÉTHODOLOGIE

La partie suivante décrit la méthodologie, en s'attachant particulièrement à la collecte des variables, à la façon dont ont été construits les modèles d'étude puis aux traitements statistiques qui ont été menés.

4.1 Collecte de données

La collecte de données a eu lieu de mai à août 2019. Elle s'est déroulée dans six municipes. Les informations socioéconomiques ont été recueillies auprès des producteurs lors d'enquêtes de ménage. Les données écologiques ont été prélevées en visitant les parcelles dans quatre *ejidos* (deux situés en matrice forestière et deux situés en matrice agricole). Des données sur les pratiques de gestion auraient également dû être collectées à la fois par entretiens et par visite des parcelles, pour construire une typologie précise des parcelles, mais elles n'ont pas été collectées pour des raisons externes. Elles sont tout de même détaillées au paragraphe 4.1.2. L'ensemble des protocoles et des échantillons est décrit dans les sections suivantes.

4.1.1 Données socioéconomiques

Les données socioéconomiques par ménage ont été recueillies lors d'entretiens individuels avec les chefs de famille ou, s'ils n'étaient pas disponibles, un autre membre du ménage possédant les informations (époux, épouse, enfant, etc.). Certains entretiens ont été menés en présence du chef de famille et de son conjoint, avec un répondant principal et l'autre complétant éventuellement ses réponses. Les questionnaires se sont déroulés en espagnol et duraient entre 30 minutes et une heure, selon les questions posées par les répondants avant le début de l'entretien et la précision de leurs réponses. Il s'agissait de questionnaires fermés. Les questions concernaient (1) la composition du ménage (nombre de personnes, éventuels liens filiaux, âge, niveaux d'études, etc.) (2) l'activité agricole (taille et composition des parcelles, présence d'employés agricoles, type et quantité de produits vendus, marchés de vente, prix de vente) (3) le revenu (présence d'autres revenus, d'aides du gouvernement, dépenses moyennes par semaine) (4) la pauvreté subjective (perception de leur situation actuelle et de son évolution) et (5) leurs relations avec la coopérative (voir Annexe 3).

Les ménages participants ont été sélectionnés aléatoirement dans la liste de producteurs fournie par la coopérative CASFA en mai 2019. Ils font donc tous partie de la coopérative, c'est-à-dire qu'ils lui ont déjà vendu leur production par le passé (ce qui ne signifie pas automatiquement que ce soit encore le cas) ou sont en cours de transition vers une culture biologique et ont suivi une formation délivrée par la

coopérative pour pouvoir certifier leur parcelle. Cette liste n'était pas à jour (personnes décédées ou ayant déménagé) et certaines parcelles apparaissaient sous deux noms différents, mais correspondaient en réalité au même ménage. Ainsi, à l'arrivée dans chacun des *ejidos*, la liste a été examinée par le Président du conseil *ejidal* ou par une personne-ressource connaissant tous les producteurs (comme les personnes en charge de la fermentation du cacao dans la communauté) pour que cette liste soit corrigée et la plus exacte possible. Dans les *ejidos*, nous étions introduits aux producteurs lors de réunions avec les ingénieurs de la coopérative ou les personnes en charge de la fermentation, ou étions accompagnés par un membre du village, afin de mettre les participants en confiance.

Des 188 producteurs présents sur la liste ajustée, 123 ont répondu au questionnaire dans treize *ejidos* : Tuzantan, Tuxtla Chico, Plan de Ayala, Aquiles Serdan, Santa Cecilia, El Caucho, Independencia, La Estrella, Villa Comatitlan, Alvaro Obregon, Chamulapita, Chamulapa et Escuintla (tableau 4-1). Le calcul de la taille de l'échantillon a été effectué pour un niveau de confiance de 95% et une marge d'erreur de 5%, tel que :

$$\text{taille de l'échantillon} = \frac{\frac{z^2 * p(1-p)}{0,05^2}}{1 + \left(\frac{z^2 * p(1-p)}{e^2 N}\right)}$$

avec $z = 1,96$ (niveau de confiance de 95%), $e = 0,05$ (marge d'erreur), $N = 188$ (taille de la population) et $p = 0,7$ (si on considère que 70% de la population sont encore des membres actifs de la coopérative). Le résultat théorique est de 119 entretiens, donc 125 ménages ont été tirés avec l'hypothèse que certains ne souhaiteraient pas répondre (ce qui s'est avéré le cas pour deux d'entre eux). À l'origine, nous avions prévu d'effectuer environ 200 entretiens ménages, puisque la liste de la coopérative devait contenir environ 300 producteurs. Cet échantillon a été réduit et ajusté à la liste observée de la coopérative.

Le nombre d'entretiens dépendait du tirage aléatoire des producteurs présents sur la liste de CASFA. Ainsi, davantage d'entretiens ont été réalisés dans les *ejidos* possédant un plus grand nombre d'agriculteurs appartenant à la coopérative (Chamulapita, Plan de Ayala). Les détails sont présentés au tableau 4-1. Tous les résultats individuels sont anonymes et le projet a été approuvé par le Comité d'éthique de l'Université de Sherbrooke.

Tableau 4-1 Nombre d'entretiens réalisés, par municipale et *ejido*

	Nombre d'entretiens	Nombre de producteurs sur la liste ajustée de la coopérative
Escuintla²	5	5
Huehuetan	72	115
<i>Plan de Ayala</i>	32	41
<i>Chamulapita</i>	29	51
<i>Chamulapa</i>	5	7
<i>Autres</i>	6	16
Tapachula	20	24
<i>El Caucho</i>	7	10
<i>Alvaro Obregon</i>	12	11
<i>Autres</i>	1	3
Tuzantan	12	20
Villa Comatitlan	7	10
Mazatan	1	4
Tuxtla Chico	6	10
TOTAL	123	188

Le taux de pauvreté a été calculé à partir des lignes de pauvreté mexicaine. Au Mexique, elles sont estimées à partir de chiffres mensuels publiés par le *Consejo Nacional de Evaluación de la Política de Desarrollo Social* (CONEVAL, 2019), organisme public indépendant chargé de générer des informations sur la politique sociale du gouvernement. La ligne de pauvreté extrême correspond au prix d'un panier alimentaire en milieu rural, alors que celle de la pauvreté comprend le prix d'un panier alimentaire et non alimentaire de bases (incluant coûts de transport, de santé, d'éducation, d'habillement) en zone rurale. En 2019, la ligne de pauvreté rurale extrême était de 1 112,31 pesos/mois (77,52 dollars canadiens³), et la ligne de pauvreté était de 2 011,27 pesos/mois (140,17 dollars canadiens).

4.1.2 Données sur les pratiques de gestion et les parcelles

Des questionnaires portaient spécifiquement sur les pratiques de gestion des producteurs, et plus particulièrement sur 1) l'organisation de la parcelle (taille, espèces et nombre d'arbres, usage des arbres,

² Les municipales sont indiqués en gras, alors que les principaux *ejidos* composant ces municipales sont en italique.

³ Taux de change basé sur la moyenne des mois de mai à août 2019 (Banque du Canada, s. d.) Taux de change basé sur la moyenne des mois de mai à août 2019 (Banque du Canada, s. d.) Taux de change basé sur la moyenne des mois de mai à août 2019 (Banque du Canada, s. d.)

friche), 2) les pratiques de culture (l'usage de fertilisants, herbicides et pesticides, taille des cacaotiers et contrôle des mauvaises herbes), 3) les maladies et parasites (moniliose, « escoba de bruja », « mancha negra » et autres nuisibles) et 4) leur perception de la diversité biologique.

Ces informations auraient dû être complétées par des données de terrain, basées sur la diversité du couvert forestier (voir section 5.1.3 pour une méthodologie plus détaillée), la structure verticale de la parcelle (c'est-à-dire le nombre et la composition des strates arborées) et la luminosité pénétrant au sol (épaisseur du couvert forestier). Ces données auraient dû permettre de construire une typologie des parcelles de cacao des producteurs de la région et d'analyser les résultats à la lumière de l'intensité et des particularités des pratiques de gestion. Ces informations, qui devaient être collectées par un autre membre de l'équipe de projet, n'ont pas pu être collectées et manquent donc à l'analyse.

4.1.3 Données écologiques

Les données écologiques ont été collectées dans les parcelles de cacao sélectionnées au hasard parmi la liste des personnes ayant déjà été interrogées auparavant lors des entretiens socioéconomiques. Au total, 34 parcelles ont été visitées, au sein de quatre *ejidos* : Tuzantan (6 parcelles), Chamulapita (11 parcelles), Alvaro Obregon (6 parcelles) et Plan de Ayala (11 parcelles). Ces communautés ont été choisies, car ce sont celles contenant le plus de producteurs. De plus, nous avons choisi deux *ejidos* situés dans la matrice agricole (Alvaro Obregon et Plan de Ayala) et deux *ejidos* situés dans la matrice forestière (Tuzantan, Chamulapita) pour avoir une variabilité sur la variable « localisation » (voir section 4.2.2).

Les visites ont permis de déterminer la diversité d'espèces d'arbres d'ombre (espèce et famille) au sein des parcelles, à l'aide d'une méthode modifiée de transect à aire variable (ou VAT pour « variable area transect method » (Parker, 1979, modifié par Sheil, Ducey, Sidiyasa et Samsedin, 2003). Elle est décrite plus précisément dans l'annexe 2. Les avantages de cette méthode ont été mis en lumière par rapport à d'autres méthodes (Nath, Péliissier et Garcia, 2010) : elle est plus précise, efficace et économique en temps. Elle a déjà été utilisée dans les systèmes agroforestiers du Soconusco avec succès (Périchon et Quique, 2013). Dans ces transects, nous avons aussi mesuré la hauteur et le diamètre à hauteur de poitrine (DHP) des cacaotiers et des arbres d'ombre. À partir de ces données, la biomasse aérienne des parcelles a pu être calculée à l'aide d'équations allométriques (annexe 2, tableau 1). L'indice de Shannon a été déterminé à l'aide du paquet « vegan » (Oksanen et al., 2019) opéré sur le logiciel R, dans la version 3.5.3.

Des échantillons de sol ont aussi été collectés sur les parcelles sur une profondeur de 30 cm, à l'aide d'un protocole adapté du Global Terrestrial Observing System programme (Law et al., 2008). Ces échantillons ont ensuite été analysés en laboratoire pour déterminer la matière organique souterraine (selon la méthode de Walkley-Black), le pH et la densité apparente. Ces analyses ont été faites par le laboratoire « *Análisis de Suelos y Plantas* », à ECOSUR, unité San Cristobal (Mexique). À partir du taux de matière organique, on détermine le taux de carbone organique présent dans les échantillons de sol, tel qu'il est conventionnellement calculé : $\text{Carbone (\%)} = 0,58 * \text{Matière organique (\%)}$ (Dabin, 1971). Les données auraient dû être complétées par les valeurs de phosphore (P) et de calcium (K) obtenues à l'aide d'un spectromètre à ECOSUR, unité Chetumal, mais les analyses ont été suspendues à cette date.

4.1.4 Mappage de données

Le modèle socioécologique (modèle SUR) nécessite une importante puissance statistique que la taille de l'échantillon des variables écologiques ne permet pas ($n = 34$). Ainsi, pour pouvoir réaliser les analyses, nous avons eu recours à du « mapping » de données. Cette technique consiste à utiliser des données existantes insuffisantes en nombre pour en estimer d'autres. Elle permet d'avoir un estimé de ces données et de pouvoir exécuter le modèle statistique.

Ici, nous utilisons les caractéristiques socioéconomiques des producteurs pour estimer les paramètres écologiques des parcelles. En effet, nous partons du principe que les variables écologiques sont influencées par les pratiques de gestion, dépendant elles-mêmes des caractéristiques socioéconomiques des ménages. Ces corrélations ont été mises en lumière dans d'autres contextes : ainsi, à San Juan, Porto Rico, les jardins plus verts sont liés à des caractéristiques socioéconomiques comme l'âge des résidents, la propriété et la taille du terrain (Meléndez-Ackerman et al., 2014). Pour explorer ces relations, nous étudions sur l'échantillon réel les différentes relations linéaires possibles entre les variables socioéconomiques et les variables à estimer. La relation linéaire possédant le R^2 ajusté le plus élevé et des variables significatives est sélectionnée. Ainsi, la donnée « biomasse » (disponible pour 34 parcelles) a été estimée à partir de la « taille totale des parcelles » (disponible pour 123 producteurs). De la même façon, « pH » a été estimé à partir de « taille de la parcelle », « densité apparente » à partir de « âge du chef de famille » et « indice de Shannon » à partir de « âge du chef de famille ». Pour nous assurer de la vraisemblance de la variable estimée, la variance et la moyenne de l'échantillon réel et de l'échantillon estimé ont aussi été balancées (Tableau 4-2).

Tableau 4-2 Moyenne et variance des échantillons réels et estimés du pH, de la densité apparente, de l'indice de Shannon et de la biomasse

Variable	Moyenne		Variance	
	Échantillon observé	Échantillon estimé	Échantillon réel	Échantillon estimé
PH	6,08	6,08	0,32	0,04
Densité apparente	1,12	1,11	0,01	0,00
Indice de Shannon	0,73	0,76	0,10	0,01
Biomasse (tonnes)	22, 82	22, 82	115 118, 07	12 410, 91

4.2 Modèles théoriques

Les SES sont des systèmes complexes, ce qui rend difficile leur modélisation. Il s'agit de déterminer l'angle d'étude précis de l'étude, ainsi que son échelle, pour pouvoir ensuite définir des modèles et variables pertinents. Dans cette partie, nous testons quatre modèles indépendants. Chacun de ces modèles est utilisé pour tester les différents facteurs de résilience et déterminer s'ils sont vérifiés dans la zone d'étude. Ces facteurs de résilience ont été identifiés lors de la revue de littérature (voir section 1.5) et sont ici appliqués à l'étude de cas.

4.2.1 Modèles socioéconomiques

Les modèles concernant la partie économique sont au nombre de deux : l'un concerne la pauvreté monétaire, l'autre la pauvreté subjective (telles que définies dans la revue de littérature).

Le premier modèle concernant la pauvreté monétaire est décrit à l'aide d'une régression linéaire multiple (équation 1). La variable dépendante est le niveau de dépense par équivalent adulte en pesos/mois (basé sur l'échelle d'équivalence de l'OCDE, telle que 1 est le chef de ménage, 0,5 correspond aux membres âgés de 14 ans et plus et 0,3 pour les membres âgés de moins de 14 ans ; il s'agit d'un outil commun et stable permettant d'assurer la stabilité dans le temps des échelles d'équivalence (Accardo, 2007)). On considère les dépenses comme étant un bon proxy du revenu, car les ménages dépensent ce qu'ils possèdent dans des situations où le crédit à la consommation est rare : si les dépenses augmentent, le revenu aussi (en gardant en tête que les ménages peuvent produire et consommer des biens, sans les acheter, par exemple les produits agricoles pour l'autoconsommation) (O'Donnell, Van Doorslaer, Wagstaff et Lindelow, 2007). Ainsi, Y , le vecteur du niveau de dépense par équivalent adulte (en pesos/mois), est une fonction de X , la matrice de variables socioéconomiques (voir détails dans le

tableau 4-3), β le vecteur des paramètres et de U , le vecteur des résidus (liés à des erreurs de mesure, paramètres inobservables) tels que :

$$Y = \beta X + U \text{ (1)}$$

Le second modèle concerne la pauvreté subjective, c'est-à-dire la perception de la situation par le chef du ménage (équation 2). Il est analysé au moyen d'une régression logistique. La variable dépendante est la variable dichotomique répondant à la question : « Manquez-vous d'argent entre les récoltes ? ». Sa probabilité moyenne d'occurrence, W , est une fonction de X , la matrice de variables socioéconomiques (voir détails dans le tableau 4-3), telle que :

$$W = \frac{1}{1 + e^{-\beta X}} \text{ (2)}$$

L'ensemble des variables qui ont été testées dans les modèles est présenté dans le tableau 4-3. Elles ont été sélectionnées en se basant sur les facteurs de résilience économique et communautaire, tels que décrits théoriquement à la section 1.5 par Norris, Stevens, Pfefferbaum, Wyche et Pfefferbaum (2008). Ainsi, nous considérons des données concernant la diversité des ressources économiques et alimentaires : présence d'animaux, présence d'un autre revenu que celui tiré de la production agricole et présence d'un crédit. Nous ne considérons pas la présence d'aides gouvernementales, car il n'y a pas assez de variabilité entre les ménages, puisque la majorité (81%) fait partie du programme d'aide agricole *Sembrando Vida*. Le système de gouvernance est illustré par la vente à la coopérative ou à d'autres intermédiaires et le type de transformation du cacao. La coopérative apparaît comme un système permettant l'atteinte d'un meilleur « capital social » en proposant un réseau de producteurs et en encourageant leur formation. Enfin, nous examinons la persistance d'un stress sur la production de cacao, à travers la présence de moniliose. Nous considérons également la présence de variables plus classiques expliquant les différences de revenu : le capital (avec la taille des parcelles et la possibilité d'employer des travailleurs) et des variables socioéconomiques caractéristiques du ménage (taille, localisation et âge, sexe et niveau d'études du chef de famille).

Tableau 4-3 Variables socioéconomiques testées dans le modèle

Déterminants de la résilience	Code des variables	Descriptions des variables	Type de variable
Variables socioéconomiques	LOC	Localisation du ménage (plaine agricole ou piémont agroforestier)	Dichotomique
	MUNIP	Municipe : Huehuetan, Tapachula, Tuxtla Chico, Tuzántan, Villa Comatitlán, Escuintla	Polytomique
	DIST	Distance au centre urbain principal (Tapachula)	Continue
	ÂGE	Âge du chef de famille	Continue
	SEXE	Sexe du chef de famille	Dichotomique
	ÉTUDES	Niveau d'étude du chef de famille : aucun, primaire, secondaire, préuniversitaire ou supérieur.	Polytomique
	MÉNAGE	Taille du ménage (nombres de personnes vivant dans le logement du chef de famille)	Continue
Capital	TRAVAIL	Nombre de personnes travaillant sur l'exploitation	Continue
	PERSONNEL	Emploi de travailleurs extérieurs au ménage	Dichotomique
	SUP_PARC	Superficie totale des parcelles appartenant au ménage (cacao et autres types de culture).	Continue
Diversité de ressources	CONSO	Cacao utilisé uniquement pour la consommation du ménage (pas de vente)	Dichotomique
	POULTRY	Élevage de volailles (canards, poules ou poulets)	Dichotomique
	BETAIL	Élevage de bétail (vaches, taureaux, chèvres ou porcs)	Dichotomique
	OTHERS	Présence d'autres revenus (issu d'un travail salarié, indépendant ou d'un commerce)	Dichotomique
	CRÉDIT	Présence d'un crédit à la charge du ménage	Dichotomique
Système de gouvernance	TYPE_CAC	Type de cacao vendu par le ménage : en grains (frais, non transformé), lavé (cacao lavé puis séché au soleil) ou fermenté (cacao fermenté puis séché au soleil).	Polytomique
	COY_COOP	Débouchés de vente : intermédiaires (ou « coyotes », achetant à un prix bas) ou coopérative (achetant à un meilleur prix, selon le type de cacao).	Dichotomique
	AN_ENTREE	Ancienneté dans la coopérative (en nombre d'années)	Continue
Chocs externes	MONILIA	Présence/absence de moniliose sur la parcelle de cacao	Dichotomique

4.2.2 Modèle écologique

Le modèle concernant la partie écologique est présenté dans l'équation 3. C'est un modèle de régression linéaire dans lequel Z , la productivité de cacao de la parcelle (en $\text{kg.m}^{-2}.\text{an}^{-1}$) est une fonction de M , la matrice de variables écologiques (voir détails dans le tableau 4-4), β le vecteur des paramètres et V la matrice des résidus (ce qui est lié à des erreurs de mesure et non aux variables) :

$$Z = \beta M + V \text{ (3)}$$

Le choix d'utiliser la productivité de cacao comme indicateur du fonctionnement écologique de la parcelle est justifié par le fait que les parcelles sont cultivées dans un régime biologique et ne dépendent donc pas d'intrants chimiques. La productivité de la parcelle dépend donc de variables locales structurales (fertilité des sols, variables géophysiques, etc.) et des pratiques de gestion (Tixier et al., 2013), et nous considérons donc que c'est un bon indicateur du fonctionnement de l'écosystème.

Les variables explicatives testées sont basées sur les facteurs de la résilience écologique, tels que définis par Biggs et al. (2012). Ces variables, présentées dans le tableau 4-4, sont des variables d'état du système, telles que la biomasse ou la matrice du paysage (Van der Werf et Petit, 2002) permettant d'avoir une « photographie » de l'état actuel de l'écosystème et des services écosystémiques qu'il rend. La diversité d'espèces est également utilisée comme proxy des services et fonctions écosystémiques (Stephens, Pettorelli, Barlow, Whittingham et Cadotte, 2015). Le carbone stocké par le couvert forestier et la biomasse organique du sol ont été choisis comme illustration des variables lentes, c'est-à-dire des variables déterminant la structure de l'écosystème, et les services écosystémiques qu'il rend, et changeant lentement (Biggs et al., 2012). Les rétroactions, qui assurent aussi la résilience des services écosystémiques, n'ont pas été étudiées, car elles auraient nécessité une analyse dans le temps des parcelles. La notion de connectivité a été considérée de façon simplifiée, examinant simplement si la parcelle se situait au sein de la matrice agricole ou de la matrice agroforestière (considérée comme mieux connectée). Les ejidos des piémonts sont situés dans une matrice agroforestière (Chamulapita, Tuzantan), alors que ceux de la plaine côtière sont situés en matrice agricole (Plan de Ayala, Alvaro Obregón).

Le choix des variables dites « écologiques » (diversité d'espèces d'arbres, matrice paysagère et carbone contenu dans le sol) se distingue de la majorité des études sur les systèmes socioécologiques qui choisissent de s'appuyer uniquement sur des variables d'intrants ou d'émission, moins représentatives de l'état de l'écosystème (Van der Werf et Petit, 2002). Pour les compléter, elles auraient dû être associées à des données sur les pratiques de gestion, notamment via une classification typologique des parcelles basée sur la gestion du couvert forestier et des intrants utilisés et via des variables de gestion individuelles, pour comprendre les relations entre systèmes humain et naturel, mais elles n'ont pas pu être collectées et manquent à l'analyse.

Tableau 4-4 Variables

explicatives du modèle écologique à partir des dimensions de la résilience des systèmes socioécologiques déterminées par Biggs et al. (2012)

Dimension	Variable choisie	Codes des variables	Justification
Diversité	Indice de Shannon $H = -\sum P_i * \log P_i$ <p>Avec P_i le pourcentage d'individus représenté par l'espèce i (estimé par N_i/M)</p>	SHAN	La diversité permet au système d'augmenter sa capacité d'adaptation : plus un écosystème est divers, plus il a de chances de posséder des espèces jouant diverses fonctions dans l'écosystème et s'adaptant à différents types de stress et perturbations (Lawton, 1994). La redondance permet une police d'assurance (Cabell et Oelofse, 2012). L'utilisation de l'indice de Shannon permet de tenir compte, non seulement de la composition des espèces, mais aussi de leur abondance relative dans les parcelles (Shannon et Weaver, 1949).
Composante du paysage	Composante du paysage (matrice agroforestière ou agricole)	LOC	<p>L'intensification agricole entraîne notamment la diminution de la diversité d'habitats et de leur hétérogénéité, ainsi que l'augmentation de la fragmentation et de l'isolement (Landis, 2017). Il est donc nécessaire de prendre en compte le paysage et en particulier sa matrice, qui est un élément vital de circulation des espèces entre fragments de végétation originale (Taylor, Fahrig, Henein et Merriam, 1993).</p> <p>Dans notre cas, la matrice agroforestière connecte des parcelles forestières ou agroforestières, tandis que la matrice agricole tend à isoler les parcelles agroforestières au milieu des monocultures.</p>

Tableau 4-4 Variables explicatives du modèle écologique à partir des dimensions de la résilience des systèmes socioécologiques déterminées par Biggs et al. (2012) (suite)

Dimension	Variable choisie	Codes des variables	Justification
Variable lente	Biomasse totale	BM_AER	Une variable lente est un élément du système dont le taux de variation est lent : elle fait donc partie des structures le soutenant, offrant souvent des services de régulation (contrôle des parasites, climat, etc.) (Biggs et al., 2012).
		BM_SOL	
	Qualité de sol	pH	La biomasse de la parcelle (aérienne et souterraine) est prise en compte, car c'est une variable intégratrice dépendant d'autres variables comme la qualité des sols (Ogle, Breidt et Paustian, 2005). Des variables de qualité des sols, comme le pH ou la densité apparente, sont également considérées.
		BULK	

4.2.3 Modèle socioécologique

Le quatrième modèle concerne le système socioécologique complet. Il s'agit donc de lier les variables socioéconomiques et écologiques. Pour ce faire, nous utilisons un système d'équations analysé à l'aide d'un modèle SUR (*Seemingly Unrelated Regression*). Le modèle SUR est exploité pour étudier des équations qui semblent a priori non reliées entre elles (pas de variables en commun), mais qui sont en réalité liées par leurs termes d'erreur entre équations (Fiebig, 2001). Il est surtout utilisé en économétrie, par exemple pour étudier les équations de consommation de deux produits a priori indépendants. Chaque équation est d'abord estimée par OLS (*Ordinary Least Square* ou moindres carrés ordinaires), puis la variance est corrigée pour tenir compte de la corrélation entre résidus en utilisant des GLS (*Generalized least squares* ou moindres carrés généralisés).

Le modèle (équation 4) est donc composé de deux équations. La première décrit le vecteur des dépenses par équivalent adulte du ménage (en pesos/mois), Y , en fonction de X , la matrice de variables socioéconomiques, et U , la matrice des résidus. La deuxième décrit la productivité de la parcelle (en $\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{an}^{-1}$), Z , en fonction de M , la matrice de variables écologiques retenues, et V , la matrice des résidus. Le modèle est formalisé de la façon suivante :

$$\begin{pmatrix} Y \\ Z \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} X & 0 \\ 0 & M \end{pmatrix} \begin{pmatrix} B \\ \Gamma \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} U \\ V \end{pmatrix} \quad (4)$$

Les variables explicatives à tester sont les mêmes que précédemment pour chacune des équations, avec respectivement les variables des tableaux 4-3 et 4-4. L'échantillon du système est tel que $n = 220$ (degrés de liberté = 205), avec un échantillon de $n = 110$ pour chacune des équations.

4.3 Limites à la collecte des données et à la méthodologie

La collecte de données présente une limite importante : l'échantillon est de taille réduite, à cause de limitations financières et de temps passé sur le terrain, et du manque d'expérience sur le terrain pour la prise des données écologiques. Pour avoir une meilleure puissance statistique et mieux capter la diversité des situations, il aurait été nécessaire de visiter davantage de parcelles (environ 60, tel que prévu initialement), même si les résultats et les données que nous possédons permettent déjà d'avoir de premiers résultats intéressants.

Pour pallier ce manque et pouvoir mettre en place le modèle socioécologique (voir section 4.2.3), le mappage de données a permis d'augmenter l'échantillon « écologique ». Toutefois, cette méthodologie d'estimation des données crée de la colinéarité entre variables socioéconomiques et écologiques, ce qui peut biaiser le résultat du modèle socioécologique. Si collecter davantage de données n'est pas possible (limites financières et temporelles), utiliser une méthode plus robuste, comme le bootstrapping, pourrait être plus intéressant.

De plus, les données écologiques auraient dû être complétées par des entretiens sur les pratiques de gestion, qui auraient pu apporter des renseignements supplémentaires sur la productivité de la parcelle et les pratiques résilientes à privilégier. La classification des parcelles (voir section 5.1.3), basée sur les données disponibles, permet toutefois d'apporter de premières nuances sur les différents modèles de gestion des parcelles de cacao.

4.4 Analyses statistiques

Nous avons suivi le protocole de Zuur et Ieno (2016) : après avoir posé les questions de recherche et construit le design expérimental, les données sont explorées pour s'assurer qu'elles correspondent aux conditions de base des modèles, puis le modèle statistique est ajusté et analysé. Les analyses ont été menées sur R en utilisant la version 3.5.3.

4.4.1 Exploration des données

Les données récupérées par le biais des questionnaires n'ont pas toutes été utilisées : certaines données ont été enlevées a priori, car elles sont apparues comme non pertinentes. Par exemple, l'âge des parcelles donné par les producteurs est peu représentatif de la situation, car beaucoup ont été héritées et les arbres sont souvent renouvelés, ce qui ne permet pas de donner d'indications sur l'âge des arbres ou le régime de tenure.

Une fonction logarithmique a été appliquée sur la variable dépendante des dépenses mensuelles pour normaliser les données. Une fonction logarithmique a alors été appliquée aux variables explicatives pour obtenir l'élasticité des variables (variation de la dépense mensuelle provoquée par la variation de la variable considérée) et faciliter l'interprétation du modèle.

Avant d'analyser les données, il était nécessaire de les explorer pour détecter les observations aberrantes (qui pourraient être dues à des erreurs de mesure et pouvant exercer une influence excessive dans l'analyse) et vérifier que les hypothèses de départ de la régression linéaire étaient respectées. Ainsi, nous avons vérifié l'homoscédasticité de la variance et je me suis assurée de l'absence de colinéarité entre les variables explicatives, ce qui pourrait augmenter la variance des coefficients de régression et donc rendre le modèle incorrect (changements de signe et de valeurs significatives) (Zuur, Ieno et Elphick, 2010). Le diagnostic a été réalisé graphiquement. Les observations aberrantes ont été repérées par la visualisation de la médiane et des données, ainsi que par l'effet de levier (distance de Cook), et aucune n'a été enlevée. Nous avons vérifié l'homoscédasticité en traçant les résidus par rapport aux valeurs prévues et je n'ai détecté aucun problème pour l'une ou l'autre des variables. L'éventuelle colinéarité des variables a été testée à l'aide d'une matrice de corrélation (corrélation de rang de Spearman), visualisée à l'aide du package « corplot » (Wei et Simko, 2017). Aucune corrélation de plus de 0,70 n'a été trouvée, donc l'ensemble des variables a été conservé. La détection de la multicolinéarité a été réalisée à l'aide du facteur d'inflation de la variance (vif) (Annexe 5). Dans le modèle de pauvreté subjective (modèle 2), la valeur de vif de la variable « Municipale » était très élevée (vif = 636,97), ce qui a amené à sa suppression du modèle.

4.4.2 Statistiques descriptives

La première partie des résultats consiste en une présentation des variables socioéconomiques, des variables des exploitations agricoles et des variables écologiques des parcelles de cacao. Pour dépeindre les exploitations et les parcelles de cacao, nous avons mené une analyse par partitionnement des données

(« *data clustering* ») qui permet de les regrouper par classes pour en tirer des tendances. Nos données contenaient des variables continues et des facteurs; nous avons donc choisi de calculer la distance de Gower qui permet de prendre en compte des données de type mixte (Legendre et Legendre, 2012). La distance de Gower calcule la dissimilitude par paire pour l'ensemble des observations, en faisant la moyenne pondérée des contributions de chaque ligne. Pour cela, nous avons utilisé le paquet « cluster » sur R (Maechler et al., 2013).

Pour distinguer les différents groupes d'exploitation, nous avons basé nos calculs sur les variables caractérisant les exploitations, telles que : localisation (plaine/montagne), municipalités, superficie de l'exploitation et de la parcelle de cacao, nombre de travailleurs (permanents et saisonniers), nombre d'employés, présence de volaille, présence de bétail, type de culture de rente présent sur l'exploitation (café, banane, mangue, maïs, palmier à huile, pâturage ou autre), vente du cacao à la coopérative ou à des intermédiaires, montant des revenus par type de ressources (cacao, autres produits agricoles, aides gouvernementales et autres revenus).

Pour partitionner les parcelles, nous nous sommes basées sur les variables suivantes : localisation (plaine/montagne), biomasse aérienne, matière organique du sol, pH, densité apparente, diversité, indice de Shannon, productivité de la parcelle de cacao par hectare par an, superficie de la parcelle de cacao et présence de moniliose.

4.4.3 Sélection des modèles

Afin d'évaluer la relation entre les dépenses mensuelles en équivalent adulte et les variables socioéconomiques et entre la productivité de la parcelle et les caractéristiques écologiques, nous avons utilisé des modèles linéaires. Un modèle de régression logistique est utilisé pour tester la relation entre pauvreté subjective et variables socioéconomiques.

Ces modèles ont été sélectionnés à l'aide de la technique pas à pas vers l'arrière (« backward stepwise ») (Annexe 4). Ainsi, l'ensemble des variables a été entré dans le modèle initial (modèle saturé). Ces variables sont décrites dans les parties 4.2.1 et 4.2.2 pour chacun des modèles. À chaque étape, la valeur du critère de sélection du modèle saturé est comparée à la valeur du critère de sélection des modèles auxquels une variable est enlevée. La variable qui n'est pas présente dans le modèle ayant la valeur de critère la plus basse est alors éliminée. Le critère de sélection choisi est l'AICc (« Akaike information criterion », corrigé pour les petits échantillons), tel que calculé dans le package « AICcmodav » (Mazerolle, 2019). Une fois

les modèles sélectionnés automatiquement, pour les modèles de productivité et de dépenses (modèles linéaires), nous utiliserons le R^2 ajusté pour observer l'ajustement du modèle aux données.

Le modèle SUR a été construit en utilisant les deux équations obtenues à la fin du processus de sélection « pas à pas », c'est-à-dire l'équation de dépenses en équivalent adulte et celle de productivité de la parcelle. Le modèle a été programmé en utilisant le paquet « systemfit » (Henningsen et Hamann, 2007). Nous utiliserons alors le R^2 ajusté de chacune des équations et le R^2 de McElroy (1977) du système d'équations (mesure de la qualité de l'ajustement pour les modèles SUR)) pour déterminer la pertinence du modèle.

5 RÉSULTATS

Les résultats des analyses statistiques sont présentés dans cette section. Les statistiques descriptives sont tout d'abord exposées et offrent un aperçu de la situation socioéconomique de la population, des types d'exploitation existantes et des parcelles de cacao. Enfin, les résultats des modèles du système socioécologique à l'étude sont donnés et permettent de faire ressortir les facteurs influençant la résilience du système.

5.1 Statistiques descriptives

Cette section présente les statistiques descriptives des variables qui seront ensuite utilisées dans les modèles statistiques. Elle s'attache aux caractéristiques socioéconomiques de la population, aux principales sources de revenus selon les types d'exploitation agricole et à la description des parcelles agroforestières de cacao, parmi lesquelles les pratiques de gestion de l'ombre et les caractéristiques du sol.

5.1.1 Variables socioéconomiques et pauvreté

Les caractéristiques socioéconomiques des ménages, par municipales et ejidos, sont détaillées dans le tableau 5-1. La population étudiée apparaît comme relativement âgée. Cela pourrait être tout d'abord expliqué par le fait que la culture pousse à un désengagement des jeunes, l'activité agricole demandant beaucoup d'efforts et étant peu rémunératrice. Les enfants semblent aussi avoir accès à plus d'éducation que leurs parents: parmi les enfants adultes (plus de 18 ans) dans les ménages, 34% ont un diplôme préuniversitaire, 16% ont un diplôme universitaire et 32% sont encore aux études (préuniversitaires ou universitaires). Les jeunes générations ont donc plus de diplômes et un meilleur accès à des emplois qui ne sont pas agricoles. L'âge élevé du chef de famille pourrait s'expliquer également par le système familial de certains ménages, qui incluent grands-parents, parents et enfants, avec des prises de décision qui sont alors souvent entre les mains des personnes les plus âgées. En effet, dans la population étudiée, 41% des ménages ne sont pas des « familles nucléaires » (parents et enfants), mais comportent d'autres parents (majoritairement grands-parents, petits-enfants, belle-mère/beau-père). Cela pourrait se vérifier notamment à Alvaro Obregón où la taille du ménage est plus élevée que la moyenne (5,5 personnes contre 4,5 en moyenne).

Tableau 5-1 Caractéristique socioéconomique des ménages, par municipales et ejidos

Municipe	Ejido	Âge moyen du chef de famille (année)	Sexe du chef de famille (%)		Taille moyenne des ménages (# de pers.)	Pas de diplôme	Primaire	Secondaire	Pré- universitaire	Université (ou équivalent)
			Femme	Homme						
Escuintla		66,2 (6,5) ⁴	60,00	40,00	2,2 (1,1)	40	40	20	0	0
Huehuetan		55,4 (13,9)	36,11	63,89	4,5 (1,8)	11,11	37,5	31,94	16,67	2,78
	Plan de Ayala	51 (14,11)	31,25	68,75	4,22 (1,93)	6,25	26,12	46,88	15,63	3,12
	Chamulapita	59,29 (10,38)	46	54	4,5 (1,67)	8,33	58,33	16,67	16,67	0
	Autres	56,5 (17,46)	31,11	68,89	5,17 (1,11)	31,11	6,67	36,67	36,67	6,67
Tapachula		53,2 (14,4)	23,79	47,62	5,2 (3,5)	35	10	15	35	5
	El Caucho	48,57 (14,16)	14,28	76,21	4,29 (1,70)	28,5	14,29	28,57	28,57	0
	Alvaro Obregon	56 (13,55)	33,33	66,67	5,5 (4,08)	41,67	8,33	8,33	33,33	8,33
Tuzantan		58,7 (16,9)	16,67	83,33	4,8 (2,8)	8,33	50	8,33	16,67	16,67
Villa Comaltitlan		54,4 (17,7)	28,58	71,42	4,9 (2,5)	14,29	57,14	28,57	0	0
Tuxtla Chico		63,0 (8,5)	33,33	66,67	3,8 (1,8)	0	50	33,33	16,67	0
TOTAL		56,0 (14,2)	37,00	62,00	4,5 (2,3)	15,45	36,59	26,02	17,89	4,07

La population étudiée présente également un nombre de chefs de famille féminins plus élevé que la moyenne régionale (37 % sont des femmes et 63 % des hommes, contre 25 % de femmes chefs de ménage et 75 % d'hommes dans le Soconusco; Gobierno Mexicano, 2010). Le nombre élevé de femmes en comparaison avec la moyenne régionale pourrait être dû à l'âge élevé de la population de l'échantillon (8 % de veuves dans l'échantillon étudié), notamment dans certains municipes. Cela est visible à Escuintla

⁴ L'écart-type apparaît entre parenthèses.

qui présente la moyenne d'âge la plus élevée et la taille de ménage la plus basse de l'échantillon (2,2 personnes) et où 60 % des chefs de famille sont des femmes, toutes veuves. La population de Tuxtla Chico est également âgée, mais se compose de couples qui vivent avec leurs enfants ou petits-enfants.

En termes d'éducation, il existe une forte corrélation négative entre l'âge du chef de famille et son niveau d'éducation ($F = 14,48$, d.l. = 4, $p = 1,57.10^{-9}$). La figure 5-1 montre que les personnes les plus âgées ont moins eu accès à l'éducation.

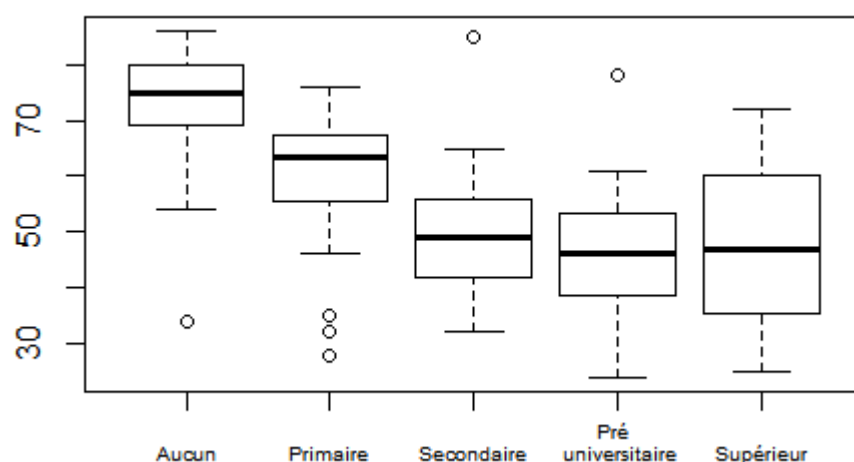


Figure 5-1 Niveau d'éducation et âge du chef de famille

Le tableau 5-2 par ejido et par municipe présente les chiffres de pauvreté et de pauvreté extrême, tels que calculés à partir des données officielles mexicaines (voir la méthodologie en 4.1.1) et des dépenses mensuelles par équivalent adulte reportées par les ménages.

Tableau 5-2 Pauvreté et pauvreté extrême (%) par municipe et ejido

Municipe	Ejido	Pauvreté extrême (%) ⁵	Pauvreté (%) ⁶
Escuintla		0,00	20,00

⁵ 1 112,31 pesos/mois

⁶ 2 011,27 pesos/mois

Huehuetan	33,33	54,17
Plan de Ayala	31,25	62,50
Chamulapita	37,50	50,00
Autres	37,78	50,00
Tapachula	0,00	30,00
El Caucho	0,00	42,85
Alvaro Obregon	0,00	16,67
Tuxtla Chico	16,67	16,67
Tuzantan	41,67	75,00
Villa Comatitlan	42,86	71,43
TOTAL	38,00	67,00

Ainsi, comparativement aux chiffres de la région du Soconusco, l'échantillon présente un pourcentage de la population en situation de pauvreté extrême plus élevé (38% contre 28,1 % en 2016 ; CONEVAL, 2019) et plus faible pour ce qui est de la pauvreté (67% contre 77,1 %). Des « poches » de pauvreté se concentrent à Villa Comaltitlan, où les revenus agricoles et les revenus de la parcelle de cacao sont très faibles (respectivement 4 685 pesos et 6 600 pesos par an, comparés à 18 238 et 18 249 pesos pour la moyenne de l'échantillon), alors que les parcelles y sont paradoxalement plus grandes (8,57 ha, voir section 5.1.2). L'absence de détails sur les pratiques de gestion et la productivité des parcelles ne permet pas de statuer sur cette situation. Le taux de pauvreté est également élevé à Tuzantan, qui se caractérise notamment par ses faibles revenus agricoles (moyenne de 7 346 pesos par an). Ces deux municipes concentrent aussi les taux de pauvreté extrême les plus élevés de l'échantillon. À Chamulapita et dans les autres ejidos de montagne de Huehuetan (Flor de un dia, Chamulapa), les écarts de richesse semblent importants avec près des trois quarts des ménages qui sont extrêmement pauvres. Les autres municipes présentent des taux de pauvreté beaucoup plus bas, voire des taux de pauvreté nuls (Escuintla, Tapachula). Les revenus agricoles apparaissent comme plus importants à Escuintla (25 852 pesos par an en moyenne contre 14 186 pesos par an pour l'échantillon total). Aucun chiffre de revenu ne permet de justifier les faibles taux de pauvreté de Tapachula. Ce résultat souligne toutefois les différences qui peuvent exister entre les revenus déclarés par activité (qui sont faibles pour ces ménages) et les dépenses déclarées mensuellement par les ménages (qui sont bien plus élevées), soulignant l'importance d'avoir accès aux deux données pour pouvoir les comparer. Les ménages ont souvent moins de difficultés à donner le montant de leurs dépenses, que le suivi annuel de leurs revenus. Il n'y a pas de différence

significative entre montagne et plaine en termes de dépenses mensuelles en équivalent adulte ($t = 1,21$, d. l. = 91,65, $p = 0,23$).

La sensation de manque de revenus entre les récoltes n'est pas corrélée avec le niveau de dépenses des ménages (pour le manque d'argent entre les récoltes, $F = 0,69$, d.l. = 114, $p = 0,41$), mais pourrait dépendre de facteurs individuels ou environnementaux. Ainsi, le bien-être des ménages situés à Huehuetan est plus bas que celui des autres municipes ($\chi^2 = 19,31$, d.l. = 6, $p = 0,004$). En revanche, la sensation de stabilité est corrélée au niveau de dépenses des ménages ($F = 4,26$, d.l. = 98, $p = 0,04$), c'est-à-dire que les ménages ayant des dépenses mensuelles plus élevées auront tendance à percevoir leur revenu comme plus stable. Le bien-être (stabilité du revenu) n'est pas lié au municipe ou à l'ejido (respectivement $\chi^2 = 6,85$, d.l. = 6, $p = 0,33$ et $\chi^2 = 16,59$, d.l. = 13, $p = 0,22$).

5.1.2 Exploitation agricole

Les exploitations agricoles échantillonnées sont d'environ 5 ha en moyenne, avec la culture du cacao qui occupe 2 à 3 ha de l'exploitation (soit entre 40 et 60%). La culture du cacao semble donc occuper une place encore importante sur les exploitations au sein de la population étudiée, malgré les phénomènes de remplacement par d'autres produits après l'arrivée de la moniliose. Ces phénomènes sont évoqués dans la littérature (voir Vaast et Somarriba, 2014) et confirmés lors des entretiens avec les producteurs (beaucoup disent avoir remplacé une partie de leur cacao par du café ou des palmiers à huile). La taille de la parcelle de cacao est corrélée positivement à celle de l'exploitation (voir figure 5-2, $t = 53,52$, d.l. = 119, $p < 0,001$). L'immense majorité (93%) des ménages possèdent une seule parcelle.

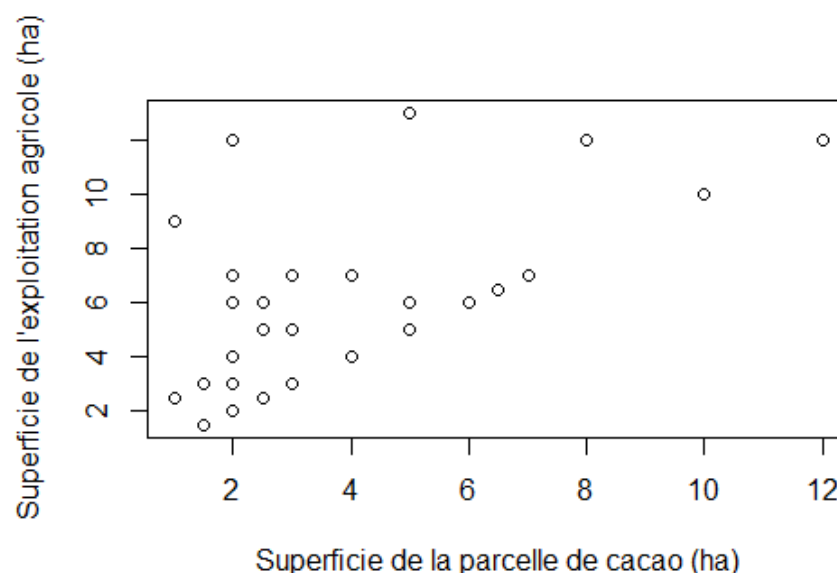


Figure 5-2 Taille de l'exploitation agricole (ha) en fonction de la taille de la parcelle (ha)

Les cultures de rente présentes sur les exploitations dépendent notamment de leur localisation. Ainsi, la principale culture des piémonts (Chamulapita, Tuzantan, Villa Comaltitlan, El Caucho, Chamulapa et Flor de un dia) est le café. On trouve plus de diversité dans la plaine : bananiers, manguiers, principalement, et, par endroits (Tuxtla Chico, Escuintla), pâturages et cultures de maïs. À Plan de Ayala, le palmier à huile s'est développé depuis l'ouverture d'une usine d'extraction d'huile en 2014 (García, 2018).

À partir des caractéristiques des exploitations (taille, type de culture de rente, type et montant des revenus, nombre de travailleurs et localisation), l'analyse de groupes a permis d'identifier cinq grands types d'exploitation. Quelques caractéristiques sont présentées dans les tableaux 5-3 et 5-4. L'ensemble des statistiques descriptives par groupe est présenté à l'annexe 7.

Tableau 5-3 Caractéristiques des exploitations selon leurs groupes

GROUPE	Taille de l'exploitation	Taille de la parcelle de cacao	Nombre de travailleurs permanents	Nombre de travailleurs employés	Nombre de travailleurs maximal	Dépenses par personne (en pesos)	Composition des revenus de l'exploitation			
							% cacao	% autres cultures	% aides	% autres revenus
1	5,92 (4,74) ⁷	3,83 (2,36)	1,94 (0,73)	1,28 (1,67)	3,44 (3,54)	3383 (2160)	14,60	47,21	3,5	28,89
2	5,88 (4,51)	3,00 (2,63)	2,32 (0,98)	1,82 (1,74)	3,21 (1,57)	1920 (1429)	37,94	28,39	11,87	28,66
3	6,68 (6,49)	3,63 (2,46)	2,16 (1,61)	1,55 (1,67)	3,35 (2,39)	2088 (1904)	31,74	42,22	5,38	17,03
4	4,10 (2,07)	2,93 (1,12)	1,67 (1,02)	1,86 (1,11)	2,62 (0,92)	1929 (1891)	50,17	4,64	6,79	38,45
5	5,88 (3,10)	3,24 (1,83)	2,20 (1,61)	2,36 (2,16)	3,48 (2,14)	3624 (6993)	30,47	39,39	6,75	18,12

Tableau 5-4 Principales cultures de rente et présence d'animaux

GROUPE	Café (%)	Banane (%)	Mangue (%)	Maïs (%)	Palmier à huile (%)	Pâturage (%)	Volaille (%)	Bétail (%)
1	11,11	0,00	5,56	16,66	0,00	5,56	11,11	5,55
2	2,00	10,71	25,00	14,28	3,57	10,71	78,57	39,28
3	25,81	0,00	9,68	9,68	9,68	9,68	74,19	19,35
4	23,81	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	14,29	0,00
5	96,00	0,00	8,00	0,00	0,00	0,00	76,00	0,00

⁷ Écart-type entre parenthèses

Le **groupe 1** (n = 18) tire la majorité de ses revenus des autres cultures de rente présentes sur l'exploitation (mangues, maïs et pâturage) et regroupe les ménages les plus riches. En effet, il s'agit des exploitations présentant la moyenne de dépenses en équivalent adulte mensuel la plus élevée des cinq groupes. Cela se vérifie pour les revenus annuels qui sont aussi les plus élevés. Le cacao occupe moins de 14% du revenu en moyenne, et demeure donc une ressource marginale (10 585 pesos en moyenne pour ce groupe, contre 18 449 pesos pour l'ensemble de la population). Ce résultat est intéressant, car ce groupe possède pourtant la taille de parcelle de cacao moyenne la plus élevée et la plus grande proportion de cacao fermenté vendu (à un prix plus élevé que le cacao lavé ou frais, même si ce dernier demeure majoritaire). La majorité de ces exploitations se situent en plaine, près des trois quarts à Alvaro Obregón (municipe de Huehuetan).

Le **groupe 2** (n = 28) présente une stratégie de diversification des revenus et des activités : le cacao occupe en moyenne la proportion du revenu la plus élevée, mais elle est suivie de près par les autres produits agricoles (bananes et mangues principalement) et la présence d'autres revenus (dont du bétail). Plus des trois quarts des ménages possèdent de la volaille (poules ou canards) et cela pourrait aussi être interprété comme une stratégie de diversification des ressources alimentaires, en plus des sources de revenu. Ces exploitations semblent contenir les ménages les plus pauvres (dépenses mensuelles en équivalent adulte et revenus annuels les plus faibles des cinq groupes). La proportion des aides dans le revenu est la plus importante pour ce groupe, ce qui souligne l'importance des aides gouvernementales pour les ménages dont le revenu est plus faible. La majorité de ces exploitations sont situées en plaine, à Plan de Ayala (municipe de Huehuetan).

Le **groupe 3** (n = 31) est celui qui est le plus diversifié géographiquement (exploitations appartenant à tous les ejidos et municipes, à part Tuzantan). On remarque là aussi une stratégie de diversification des revenus, principalement articulée autour du cacao et des autres cultures (qui sont très diversifiées, traduisant la diversité géographique : café, palmier à huile, mangue, pâturage, ramboutan et riz). La majorité du cacao est vendu lavé, directement à la coopérative (commandes exceptionnelles de cacao lavé en début d'année 2019). La stratégie de diversification se retrouve également dans le fait que les trois quarts des exploitations possèdent des volailles et 20% environ possèdent du bétail. Les dépenses par personne sont moyennes par rapport à celles des autres groupes, et cela est confirmé par le revenu annuel. Ce groupe est celui possédant le moins de gens ayant été en préuniversitaire (la majorité n'a pas d'étude, ou est allée en primaire ou en secondaire).

Le **groupe 4** (n = 21) regroupe des exploitations situées dans le piémont (à Chamulapita, municipe de Huehuetan, pour la quasi-totalité). Les revenus de ces exploitations reposent avant tout sur le cacao (plus de 50% en moyenne) et sur d'autres revenus qui viennent principalement de petits commerces. Ce groupe est celui avec le plus de revenus du cacao malgré la présence plus importante de moniliose reportée entre les cinq groupes et le fait que les tailles d'exploitation et des parcelles de cacao sont les plus petites. La majorité des exploitants vendent leur production fraîche à des intermédiaires. Une analyse plus approfondie de la gestion des parcelles pourrait permettre de comprendre cette forte productivité. La moyenne des dépenses mensuelles en équivalent adulte fait partie des plus basses. Pourtant, les revenus déclarés sont en moyenne les seconds. Cela pourrait s'expliquer par le fait que ces exploitations regroupent des ménages plus grands que ceux du reste des groupes (moyenne = 5 et écart-type = 1,41), ainsi que par la nécessité d'emploi de travailleurs (vérifié par le haut nombre d'employés, en comparaison avec le faible nombre de travailleurs permanents) dans les périodes de fort besoin de main-d'œuvre. En effet, la population est âgée (moyenne la plus élevée des cinq groupes avec 61 ans). Ce paramètre explique le besoin important en main-d'œuvre, avec des chefs de famille qui ne sont plus forcément en mesure d'effectuer tous les travaux sur leurs parcelles. L'âge élevé de l'échantillon explique également que ce groupe comprenne les chefs de famille les moins éduqués (la majorité n'a pas de diplôme ou a simplement été à l'école primaire, et il y a une absence de diplôme universitaire dans ce groupe).

Le **groupe 5** (n = 25) regroupe des exploitations reposant majoritairement sur la culture du cacao (qui est vendu frais, à des intermédiaires) et du café. En effet, la proportion d'autres sources de revenus est la plus faible des cinq groupes. Elles sont toutes situées dans le piémont (Tuzantan, El Caucho, Chamulapita, Flor de un dia, Chamulapa, Santa Cecilia). Les dépenses en équivalent adulte mensuelles font partie des plus élevées et cela est confirmé par les revenus moyens du groupe sur l'année. La culture du cacao et celle du café sont très exigeantes en main d'œuvre ponctuelle lors des périodes de récolte, puisque ce groupe a le nombre moyen de travailleurs le plus élevé. Les exploitations ne possèdent pas de bétail, mais les trois quarts des ménages ont des volailles, qui servent essentiellement pour la consommation.

Ainsi, le cacao peut occuper des rôles divers au sein des exploitations, selon les stratégies développées. Pour des exploitations plus pauvres, le cacao fait partie d'une stratégie de diversification des revenus (groupes 2 et 3). Certaines exploitations ont basé leur fonctionnement sur des cultures agroforestières, en privilégiant le café ou le cacao (groupes 4 et 5). Dans les exploitations dirigées par des exploitants plus âgés, où le cacao est aussi important et fait partie des traditions, les parcelles très productives (groupe 4).

Enfin, le cacao peut aussi occuper une place marginale dans des exploitations qui reposent avant tout sur d'autres cultures de rente (groupe 1).

En général, la taille de la parcelle de cacao est corrélée positivement à la part de revenu du cacao dans l'exploitation ($t = 2,61$, d.l. = 105, $p = 0,01$), c'est-à-dire que plus la parcelle est grande, plus le revenu issu du cacao est important. Pour autant, ce sont les plus petites parcelles qui sont les plus rentables, c'est-à-dire qu'elles présentent une productivité par hectare supérieure ($t = -2,64$, d.l. = 32, $p = 0,01$). Cela est représenté aux figures 5-3 et 5-4. Ces relations sont explorées avec plus de détails dans la partie 5.2.2.

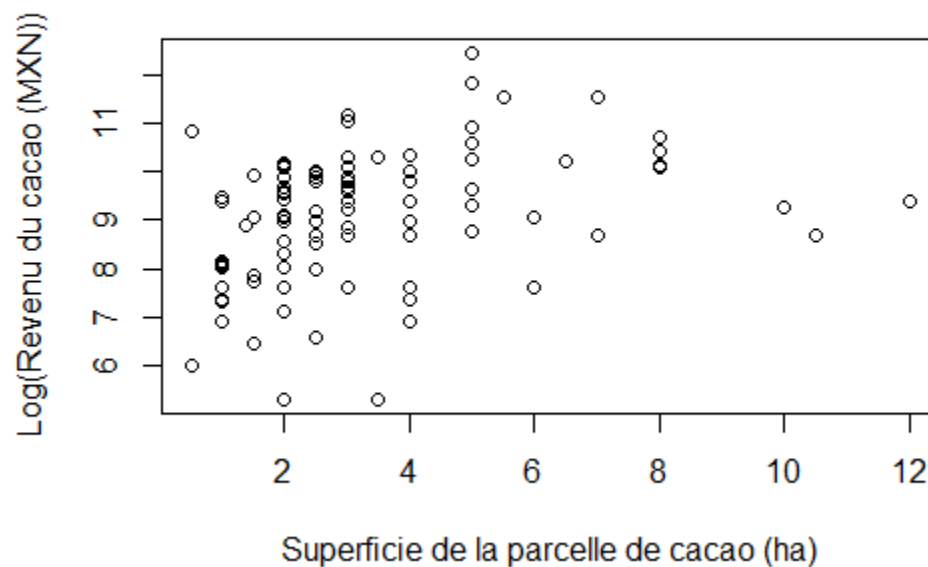


Figure 5-3 Revenu du cacao en fonction de la superficie de la parcelle de cacao

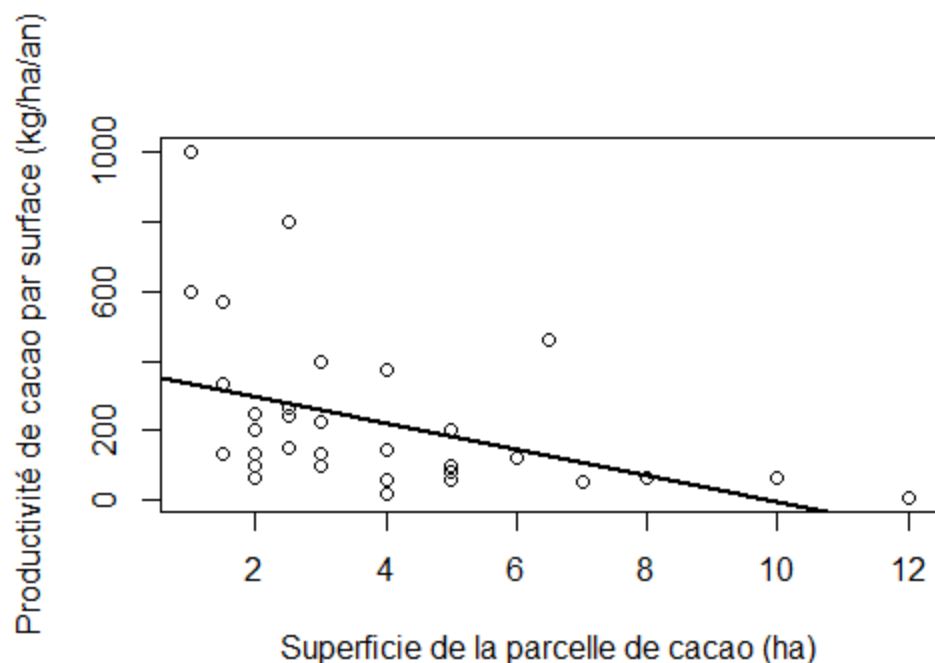


Figure 5-4 Productivité de cacao en fonction de la superficie de la parcelle

Deux exploitations sont présentées comme études de cas à l'**Annexe 8**.

5.1.3 Cacao : vente et parcelles

Dans l'échantillon étudié, 97% des producteurs tirent des revenus de la vente de cacao. Les 3% restants n'exploitent plus leur parcelle ou conservent leur récolte pour leur consommation personnelle. Les producteurs font tous partie de la coopérative CASFA et sont donc des producteurs certifiés « biologiques » qui ont été formés aux pratiques agroécologiques. Toutefois, en 2019, seuls environ 40% des producteurs vendaient leur production à la coopérative. La répartition des ventes de cacao selon leur débouché par municipe et ejido est présentée dans le tableau 5-5.

Tableau 5-5 Répartition des ventes de cacao par municipes et ejidos

Municipio	Ejido	Vente à la coopérative (%)	Vente à d'autres intermédiaires (%)
Escuintla		80,00	20,00
Huehuetan		37,50	62,50
	Plan de Ayala	28,13	71,87
	Chamulapita	37,50	62,50
	Chamulapa, Flor de un dia	80,00	20,00
	Santa Cecilia	0,00	100,00
Tapachula		25,00	75,00
	El Caucho	14,29	85,71
	Alvaro Obregon	33,33	66,66
Tuzantan		58,33	41,67
Villa Comaltitlan		85,71	14,29
Tuxtla Chico		16,67	83,33
TOTAL		40,65	59,35

Le fonctionnement de la coopérative et les problèmes de gestion des dernières années expliquent le fait que certains producteurs choisissent de vendre leur cacao sur d'autres marchés. En effet, dans chaque ejido, un ingénieur de la coopérative est chargé du suivi des parcelles. Son rôle est parfois complété par celui d'un « chef de communauté » qui achète le cacao frais aux producteurs et est en charge de sa fermentation (comme dans les ejidos de Chamulapita, Plan de Ayala, Alvaro Obregon). Or, certains de ces suivis ont été abandonnés au cours des dernières années, ce qui a été signalé par les producteurs (23% signalent des problèmes de communication avec la coopérative). Les délais de paiement et l'absence d'interlocuteur (pas d'ingénieur en charge) expliquent que le nombre de ventes soit très faible, voire nul dans certains ejidos (Sante Cecilia, Tuxtla Chico, El Caucho, Plan de Ayala). Les ejidos dans lesquels le pourcentage de producteurs vendant à la coopérative est élevé sont ceux dans lesquels le système de communication fonctionne correctement avec un « chef de communauté » bien installé (Flor de un Dia, Chamulapa) ou qui ont profité des commandes exceptionnelles de cacao lavé pour lesquelles les ingénieurs de la coopérative se sont déplacés (Escuintla = 80% des producteurs, Villa Comaltitlan = 86 %).

Les parcelles de cacao qui ont été visitées présentent des structures et des pratiques de gestion qui sont différentes. Des données plus approfondies sur la structure de la parcelle (structure verticale, luminosité), ainsi que sur les pratiques de gestion seraient nécessaires pour véritablement mettre en place une typologie des parcelles. Toutefois, avec les données qui sont disponibles (diversité, matière organique,

pH, densité apparente, biomasse aérienne et productivité), une première classification a été faite par analyse des groupes. Cette analyse révèle trois groupes distincts de parcelles. Les caractéristiques par groupe sont présentées dans le tableau 5-6.

Tableau 5-6 Caractéristiques des parcelles de cacao par groupe

	1		2		3		TOTAL	
	Moyenne	Écart-type	Moyenne	Écart-type	Moyenne	Écart-type	Moyenne	Écart-type
Matière organique (%)	4,79	1,57	3,81	0,97	2,90	1,31	3,83	1,28
Biomasse aérienne (kg)	139,98	50,06	194,79	86,44	128,28	83,35	154,35	73,28
pH	6,08	0,60	6,16	0,35	6,03	0,69	6,09	0,55
Densité apparente (g/mL)	1,13	0,07	1,09	0,07	1,12	0,08	1,11	0,08
Surface terrière (m ² /ha)	14718	3224	17224	3380	12224	3660	14722	3421
Diversité (nb espèces d'ombre)	5,00	1,63	3,81	1,60	4,81	2,31	4,54	1,84
Indice de Shannon	0,91	0,20	0,70	0,34	1,12	0,30	0,91	0,28
Productivité (kg·ha ⁻¹ ·an ⁻¹)	112,12	158,22	230,42	205,74	283,75	255,63	208,76	206,53

Le **premier groupe** de parcelles est le plus réduit (huit parcelles, soit 24% de l'échantillon). Il correspond à de grandes parcelles (moyenne = 7,21 ha, écart-type = 2,82 ha), qui sont cultivées sous le couvert forestier le plus diversifié. En effet, on y retrouve des espèces fruitières et de bois, mais aussi de forêts (soit la quasi-totalité des 44 espèces répertoriées sur l'ensemble des parcelles visitées, voir annexe 1). Ce sont également les parcelles possédant la plus grande densité moyenne de cacao (moyenne = 5300 arbres/ha, écart-type = 1500 arbres/ha) et d'arbres de couvert (moyenne = 800 arbres/ha, écart-type = 300 arbres/ha). La densité d'arbres semble favoriser la matière organique, qui est la plus élevée des trois groupes. Pourtant, ces parcelles présentent un rendement plutôt bas. Cela pourrait s'expliquer de plusieurs façons. La forte présence de moniliose (présente sur 85% des parcelles) pourrait expliquer en partie la faible productivité des parcelles. De plus, la grandeur des parcelles, si elle favorise la diversité, ne permet pas une gestion « arbre par arbre » (dans l'application de traitement contre la moniliose ou la taille, par exemple). Cela pourrait être confirmé par le fait que le nombre moyen de travailleurs par hectare lors des périodes de récolte et de taille est le plus faible des trois groupes (moyenne = 0,61 travailleur/ha, écart-type = 0,54 travailleur/ha, pour une moyenne de l'échantillon total de 0,75 travailleurs/ha, écart-type = 0,70 travailleurs/ha).

Le **second groupe** rassemble des parcelles (12 parcelles, soit 35% de l'échantillon) qui sont cultivées sous un couvert forestier moyennement fourni et diversifié. Le couvert est principalement composé d'espèces de bois (*Cordia alliodora*, *Longocarpus rugosus*, *Roseodendron donnell-smithii*, *Aspidosperma desmanthum*, etc.) et de certaines espèces fruitières (principalement avocat, *Persea americana*, et sapotillier mamey, *Pouteria sapota*). Bien que la densité de cacaotiers soit moyenne (moyenne = 4400 arbres/ha, écart-type = 1200 arbres/ha) et que celle du couvert forestier soit la plus faible des trois groupes (moyenne = 500 arbres/ha, écart-type = 400 arbres/ha), ces parcelles présentent la biomasse aérienne la plus élevée. Cela pourrait s'expliquer par le type d'arbres d'ombre présents sur les parcelles, qui sont âgés et ont une forte biomasse (DHP supérieur à 200 cm et architecture avec une division du tronc basse pour des arbres). La matière organique sur ces parcelles est moyenne, ce qui pourrait expliquer le rendement moyen. La gestion semble peu intensive, tel qu'indiqué par le nombre de travailleurs moyen dans les périodes de travail les plus intenses (moyenne = 0,84 travailleur/ha, écart-type = 0,27 travailleur/ha) et la moniliose, présente sur 70% des parcelles.

Le **troisième groupe** est celui rassemblant le plus grand nombre de parcelles (14 parcelles, soit 41%). Il contient des parcelles de petite et de moyenne taille (moyenne = 2,88 ha, écart-type = 1,78 ha). S'il est le second plus diversifié en termes d'espèces d'ombre, l'abondance de ces espèces est plus également répartie (indice de Shannon le plus élevé des trois groupes). Ainsi, contrairement au premier groupe les parcelles du troisième groupe présentent un couvert plus « équilibré », dans lequel les espèces sont présentes dans des proportions similaires. Cela s'explique par le fait que de nombreuses espèces du couvert sont cultivées pour la vente (principalement des espèces fruitières comme le bananier, *Musa paradisiaca*, le café robusta, *Coffea canephora*, le manguier, *Mangifera indica*, etc.) et sont donc abondantes. Parmi ces parcelles, on en trouve qui peuvent être considérées comme des parcelles de plein-soleil, car leur couvert est uniquement composé de bananiers (*Musa paradisiaca*) ou de café robusta (*Coffea canephora*). Le rendement à l'hectare est le plus élevé des trois groupes : ce sont les parcelles les plus productives, aussi bien au niveau du cacao que des autres espèces. Les cacaotiers et le couvert y sont les moins denses (respectivement moyenne = 3900 arbres/ha, écart-type = 1900 arbres/ha et moyenne = 300 arbres/ha, écart-type = 0,05 arbre/m²), ce qui favorise la luminosité. De plus, la moniliose n'est présente sur aucune des parcelles. Ces caractéristiques laissent à penser que la gestion de ces parcelles est plus intensive, en termes de choix du couvert forestier et de taille des espèces de couvert notamment. Cela est appuyé par le fait que le nombre de travailleurs à l'hectare lors des fortes périodes de travail est

le plus élevé et représente en moyenne le double en comparaison avec les deux autres groupes (moyenne = 1,72 travailleur/ha, écart-type = 1,22 travailleur/ha).

Les caractéristiques écologiques des parcelles semblent donc dépendre de la façon dont celles-ci sont gérées. Seule une caractéristique, la matière organique du sol, pourrait dépendre en partie de la zone d'étude et donc du type de sol ($F = 11,95$, d.l. = 3, $p = 2,56.10^{-5} < 0,001$). Ainsi, les parcelles d'Alvaro Obregon sont plus chargées de matière organique (voir figure 5-5). Elles sont situées sur un andisol (INEGI, s.d. -a), un sol caractérisé par un horizon supérieur riche en matière organique et une roche-mère d'origine volcanique, particulièrement utile pour l'agriculture (IUSS Working Group WRB, 2015), tandis que les autres *ejidos* ont des sols naturellement moins riches en matière organique (Chamulapita : acrisol, Plan de Ayala : cambisol, Tuzantan : phaeozem) (INEGI, s. d.-a). Toutefois, la gestion de la parcelle est également très importante dans le maintien de la matière organique. Or, la majorité des parcelles d'Alvaro Obregon fait partie du premier groupe de parcelles, qui présente la matière organique la plus élevée, ce qui pourrait être lié à leur couvert forestier, qui est dense et diversifié en comparaison des deux autres groupes de parcelles. Cette différence de matière organique pourrait donc être aussi davantage liée à la gestion de la parcelle, qu'aux caractéristiques du sol.

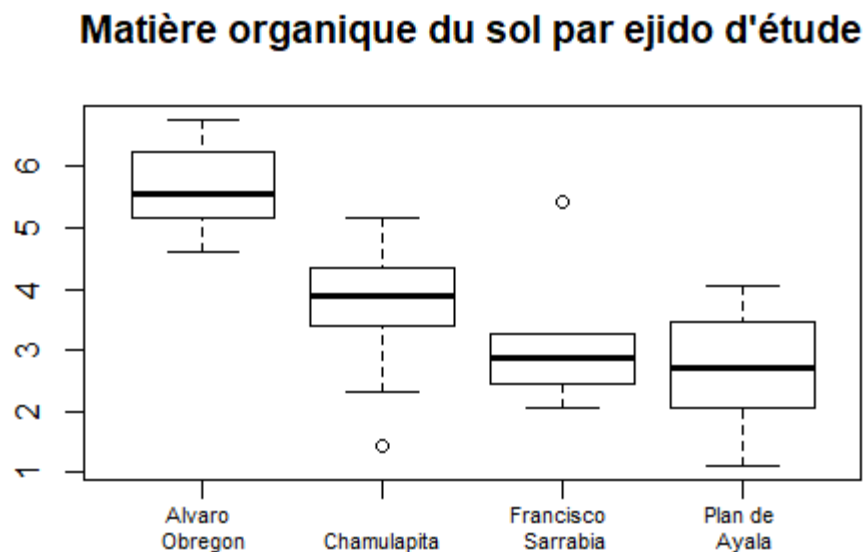


Figure 5-5 Matière organique du sol par ejido d'étude

5.2 Description des modèles

Cette section présente les résultats des modèles de régression linéaires, qu'il s'agisse des modèles de pauvreté subjective et de dépenses mensuelles par équivalent adulte, ainsi que du modèle écologique de productivité de la parcelle et du modèle socioécologique.

5.2.1 Modèles socioéconomiques

Des aspects importants des modèles théoriques de résilience, tels qu'exposés dans la revue de littérature, se retrouvent dans les résultats des deux modèles socioéconomiques, soit le modèle de pauvreté monétaire, en prenant en compte la dépense mensuelle en équivalent adulte, et le modèle de pauvreté subjective (tableau 5-7). Le pourcentage de variance expliqué par le modèle 1 (R^2 ajusté) est de 14,07 %.

Tableau 5-7 Résultats des modèles socioéconomiques

Variable	Modèle 1 (dépenses mensuelles)		Modèle 2 (pauvreté subjective) – effets marginaux	
	Coefficient	Valeur de p	Coefficient	Valeur de p
Intercept	4,886 *** ⁸	0,002	4,538 ***	0.001
Localisation (Plaine)	-0,289 *	0,091	--	--
Études (préuniversitaire)				
Absence	-0,618 *	0,052	--	--
Primaires	-0,709 ***	0,005	--	--
Secondaires	-0,381	0,118	--	--
Supérieures	0,845 *	0,054	--	--
Nombre de personnes dans le ménage	-0,238 *	0,081	--	--
Vente à des intermédiaires (et non à la coopérative)	0,607 **	0,018	--	--
Transformation du cacao (fermenté)				
Frais	-0,138	0,608	--	--
Lavé	0,496	0,136	--	--
Autres revenus (présence)	0,382 *	0,096	--	--
Age ²	0,370 **	0,042	<0,001*	0,091
Nombre d'années dans la coopérative	-0,076	0,406	-0,166 **	0,020
Présence de personnel employé sur la parcelle	--	--	1 550 **	0,020
Distance à Tapachula	--	--	-0,073 ***	0,006
Sexe (masculin)	--	--	-0,720	0,292
Crédit	--	--	17 690	0,993

L'éducation est une variable classique des modèles de revenu et se retrouve dans les divers cadres conceptuels sur la résilience, à travers les notions de développement économique et de compétence communautaire. Son importance est soulignée ici par le modèle de pauvreté monétaire (modèle 1). En effet, on observe que les ménages dans lesquels le chef de ménage a moins d'éducation formelle ont également des revenus moins élevés (baisse du revenu de 19 % pour un chef de ménage n'ayant pas

⁸ Le gras signifie que la variable est transformée logarithmiquement. Dans la colonne « variable », la caractéristique entre parenthèses représente le facteur ayant été pris pour référence lors de variables factorielles. Les astérisques correspondent au seuil de variables significatives : *, 0,1 ; **, 0,05 ; ***, 0,01 et ****, 0,001. « -- » signifie que la variable n'a pas été retenue dans le modèle.

d'études, de 30 % pour un diplôme de l'école primaire, de 22 % pour un diplôme de l'école secondaire, par rapport à quelqu'un possédant un diplôme préuniversitaire) (figure 5-6). L'obtention d'un diplôme de cycle supérieur est associée à une hausse moyenne de 56 % du revenu, par rapport au diplôme préuniversitaire.

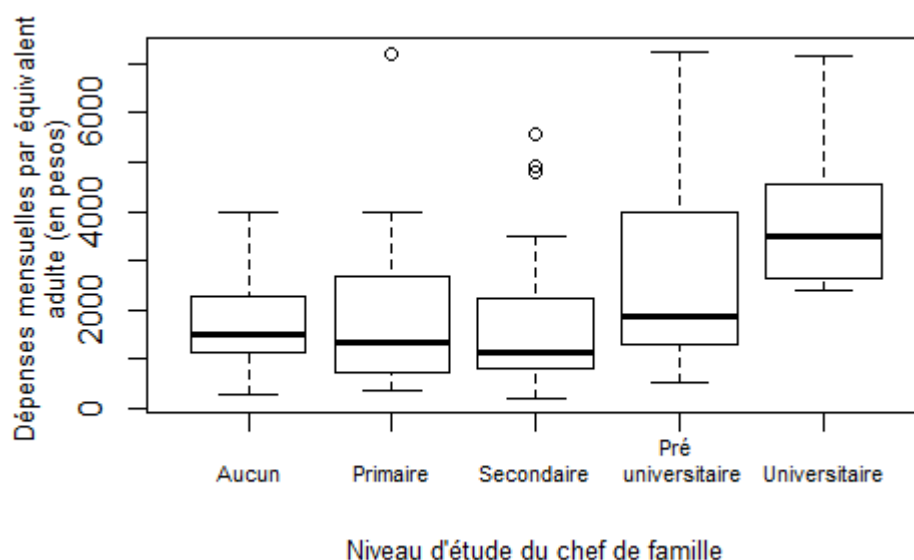


Figure 5-6 Niveau d'éducation du chef de famille et dépenses mensuelles par équivalent adulte (en pesos)⁹

Le modèle de pauvreté monétaire met aussi en exergue la notion de diversification des ressources, qui est également fondamentale dans les modèles de résilience. Elle est ici accentuée à travers la variable décrivant que les ménages possédant d'autres sources de revenus que les revenus agricoles ou les aides gouvernementales ont des dépenses mensuelles supérieures de 7 %, comparativement aux ménages n'en ayant pas. Pourtant, le modèle 2 de perception semble aller à l'encontre de cette affirmation, puisque les ménages possédant des volailles, ce qui peut aussi être considéré comme une stratégie de diversification des sources alimentaires, se perçoivent comme plus pauvres (62 % des ménages qui n'ont pas de volailles se perçoivent comme pauvres, contre 91 % pour ceux en possédant). Cela pourrait être dû au fait que la possession de volailles est une stratégie pour s'assurer une source de nourriture (œufs et viande) en cas de crise ou de perte de la production. Cette hypothèse pourrait se confirmer par le fait que les deux groupes d'exploitation dans lesquels les ménages possèdent le plus de volailles sont les groupes 2 et 3,

⁹ Deux valeurs aberrantes ont été retirées pour permettre de mieux visualiser les résultats (dépenses = 9696,97 et 8040,12, correspondant respectivement au niveau d'éducation primaire et aucun).

dont les dépenses mensuelles moyennes font partie des plus basses. La diversification des sources alimentaires pourrait donc être une stratégie particulièrement mise en place par les ménages les plus pauvres pour s'assurer des sources alimentaires et être moins vulnérables face à des perturbations (ex. perte de production).

Le modèle 1 de pauvreté monétaire met également en exergue le système de gouvernance, en soulignant certaines caractéristiques du système de vente du cacao. En effet, les ménages vendant leur production à des intermédiaires auront tendance à avoir des dépenses moyennes mensuelles plus élevées de 20 %, par rapport à ceux vendant à la coopérative. Cette différence ne s'explique pas par l'effet de la taille des parcelles. Comme nous l'avons vu à la section 5.1.2, la majorité des producteurs vendant à la coopérative fait partie du groupe 3 des exploitations, qui ont parmi les parcelles les plus grandes (voir annexe 7). Toutefois, cette analyse des différents types d'exploitation révèle aussi que, si les dépenses mensuelles en équivalent adulte du groupe vendant majoritairement à la coopérative (groupe 3) sont légèrement plus basses en moyenne (de 24% par rapport aux autres types d'exploitation), le revenu total issu du cacao demeure dans la moyenne (de 12% moins élevé que la moyenne totale de quatre autres groupes). Ces deux caractéristiques sont présentées à la figure 5-7.

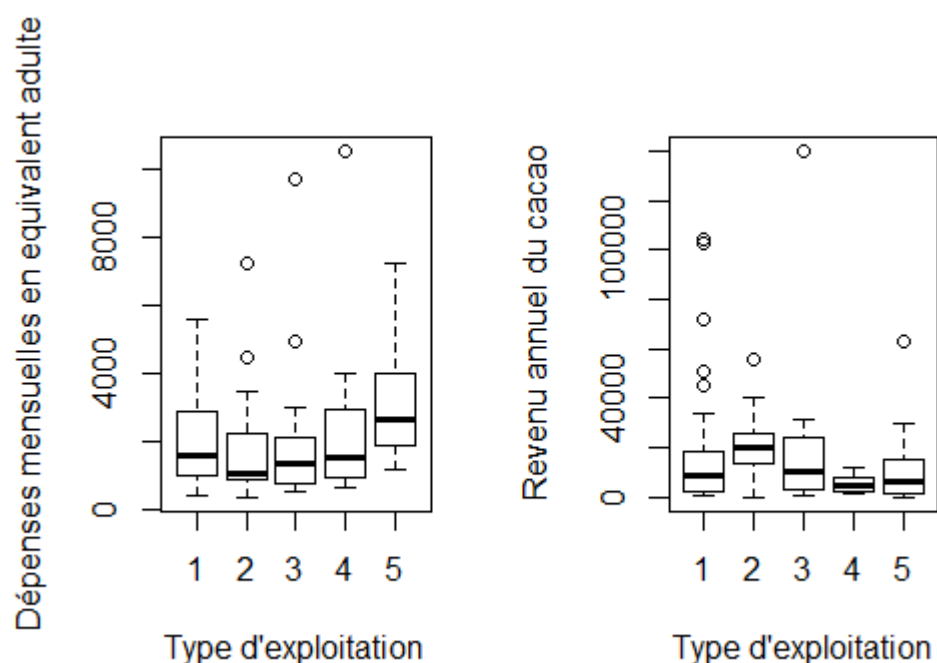


Figure 5-7 Dépenses mensuelles en équivalent adulte selon le type d'exploitations

Ainsi, le fait que les producteurs vendant à la coopérative aient un moins de dépenses mensuelles en équivalent adulte pourrait venir du type d'exploitation et des caractéristiques de leurs autres revenus, plus que de l'organisation de la coopérative. En effet, ce groupe de producteurs est celui possédant les autres sources de revenus les plus basses (26% de moins en moyenne que les autres exploitations) et le moins d'aides gouvernementales (47% en moins en moyenne que les autres exploitations). De plus, les variables concernant la forme sous laquelle est vendu le cacao n'influencent pas le revenu : en termes de revenus annuels issus du cacao, il y a peu de différence entre producteurs vendant le cacao frais et ceux le vendant fermenté (4 % supplémentaire pour vente fraîche) alors que le cacao fermenté représente plus de travail, pour un prix d'achat au kilo qui est plus élevé. Ainsi, le renforcement des capacités par la coopérative (apprentissage des bonnes techniques de fermentation) ne permettrait pas forcément une différence significative de revenus. Le coût de travail du cacao fermenté pourrait ne pas être compensé par le prix proposé par la coopérative. Toutefois, le modèle de pauvreté subjective indique que plus un ménage fait partie depuis longtemps de la coopérative, meilleure sera la perception de sa situation économique (moyenne de 8,5 ans d'ancienneté pour ceux ne se percevant pas comme pauvres, contre 6,7 ans pour ceux se percevant comme pauvres, sachant que peu de ménages ont été recrutés dans les deux dernières années à cause des problèmes de gestion de la coopérative). L'encadrement et la formation offerts par la coopérative semblent donc ressentis par les producteurs.

On retrouve dans les deux modèles des indicateurs plus classiques peu liés au concept de résilience. Ainsi, la pauvreté subjective (modèle 2) est influencée par des variables telles que le contexte géographique (ménage plus proche du grand centre urbain se sentant moins pauvre), le contexte social (les chefs de famille plus âgés et de sexe masculin se perçoivent comme moins pauvres) et la possession d'un crédit (accentuation du sentiment de pauvreté). Le niveau de dépenses mensuelles par personne (modèle 1) est, lui, corrélé au nombre de personnes dans le ménage (phénomène d'économies d'échelles), à la localisation (ménages en plaine plus pauvres) et au carré de l'âge du chef de famille (accumulation de capital).

5.2.2 Modèle écologique

Le modèle de productivité de la parcelle présente un résultat intéressant en soulignant un élément qui serait plus lié à la gestion de la parcelle, sa superficie, et non aux variables écologiques (tableau 5-8). Le pourcentage de variance expliquée par le modèle (R^2 ajusté) est de 17,87 %. Ainsi, plus une parcelle est grande, moins elle est productive, ce qui pourrait correspondre au niveau d'effort potentiellement investi par les producteurs. Ainsi, une parcelle de 2 ha aura une productivité inférieure de 80 %, une parcelle de 5 ha inférieure de 85 % et les parcelles de plus de 7 ha de 95 % par rapport à une parcelle de 1 ha (figure 5-8).

Tableau 5-8 Résultats du modèle écologique de productivité de la parcelle

Variable	Coefficient	Valeur de p
Intercept	459,785	<0,001
Taille de la parcelle	-34 542 ** ¹⁰	0,019
Biomasse aérienne	-0,005	0,132

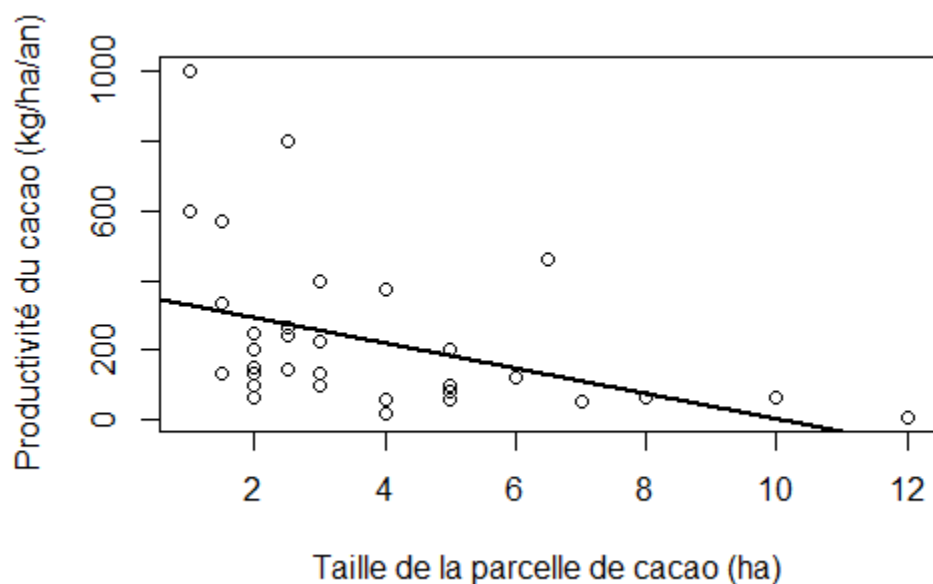


Figure 5-8 Productivité annuelle du cacao (kg/ha/an) en fonction de la taille de la parcelle (ha)

Ce lien entre taille des parcelles et productivité semble appuyé par l'analyse des caractéristiques des groupes de parcelles qui ont été définis à la section 5.1.3. Ainsi, la taille des parcelles décroît du groupe 1 au groupe 3, alors que la productivité par unité de superficie augmente (figure 5-9). Les caractéristiques de ces groupes de parcelles indiquent que l'intensité de la gestion y varie, notamment dans le soin apporté au choix des espèces d'ombre, et qu'elle augmente probablement en intensité du groupe 1 au groupe 3. En effet, le groupe 3 pratique une forme d'agroforesterie qui apparaît comme plus intensive, en sélectionnant des espèces d'ombre productives qui demandent plus d'entretiens (taille du café et le bananier est une espèce annuelle) et en offrant un couvert moins dense laissant passer plus de lumière. Certaines parcelles de ce groupe pourraient même être considérées comme des parcelles de plein soleil,

¹⁰ Les astérisques correspondent au seuil des variables significatives : *, 0,1 ; **, 0,05 ; ***, 0,01 et ****, 0,001.

puisque la parcelle n'est composée que de bananiers (*Musa paradisiaca*) ou de café (*Coffea*) qui laissent passer la luminosité. Le groupe 2 semble proposer une intensité de gestion moyenne, en sélectionnant des arbres de bois et quelques fruitiers. Le groupe 1 est celui présentant les caractéristiques de gestion les moins intensives, avec une forte diversité et une forte densité du couvert forestier, incluant des espèces de forêt. La superficie des parcelles pourrait donc bien être considérée comme un proxy des pratiques de gestion, même s'il serait nécessaire de les explorer et les détailler davantage. L'absence de moniliose signalée sur les parcelles du groupe 3 pourrait signaler un suivi « arbre par arbre » plus important et qui permettrait de détecter et éliminer rapidement le champignon, ce qui n'est pas possible sur les parcelles de plus grande taille. Elle pourrait aussi être notamment dû à une absence (ou une très faible) ombre sur la parcelle.

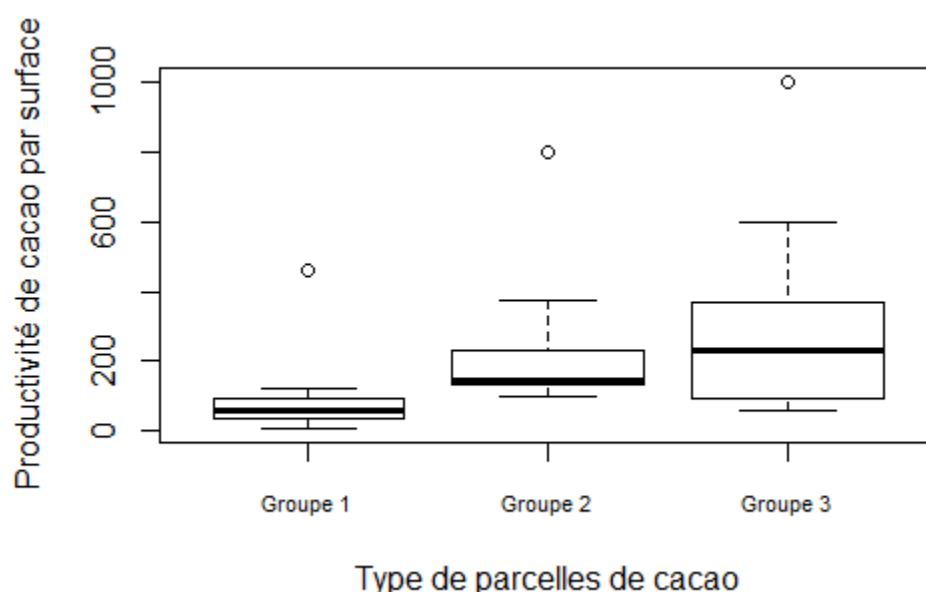


Figure 5-9 Productivité du cacao en fonction du type de parcelle de cacao

5.2.3 Modèle socioécologique complet

Le modèle socioécologique d'équations combinées reprend les modèles de dépenses mensuelles par équivalent adulte (équation de dépenses) et le modèle de productivité de la parcelle (équation de productivité). Le modèle obtenu lors de la régression SUR est donné dans le tableau 5-9.

Le R^2 du système évalué à partir de la méthode des moindres carrés ordinaires est de 1,94, tandis que le R^2 évalué à partir de McElroy est de 17,80. De plus, les erreurs résiduelles standard (RSE) de chacune des équations diminuent avec la méthode SUR, comparativement avec les modèles indépendants obtenus par

régression linéaire. En effet, pour le modèle global SUR, RSE = 8,20 avec, pour l'équation de dépenses, RSE = 0,0023 (RSE = 0,747 dans le modèle de pauvreté monétaire des moindres carrés) et, pour l'équation de productivité, RSE = 10,54 (RSE = 202,76 dans le modèle de productivité de la parcelle). Les R^2 et les RSE montrent donc que les coefficients estimés par la régression SUR sont plus efficaces que ceux estimés par la méthode des moindres carrés. Ainsi, le modèle SUR semble prendre en compte l'imbrication des sphères socioéconomiques et écologiques.

Toutefois, la corrélation des résidus est $\rho = 15,36$, ce qui indique que les équations sont faiblement liées entre elles et que le système ne présente pas de gain d'efficacité réel comparativement à des méthodes d'équations séparées puisque $\rho < 30$ (Zellner, 1962). Cela pourrait notamment être dû au fait que la proportion de la variance de la productivité expliquée par les variables indépendantes soit très faible (R^2 ajusté = 0,12), à cause du fait que les données utilisées soient majoritairement estimées et non observées (mappage de données) et le manque de données sur les pratiques de gestion.

Cependant, le R^2 ajusté de l'équation socioéconomique est de 20,36 %, ce qui représente une amélioration (de 6,29%) comparée au modèle de dépenses mensuelles en équivalent adulte simple (voir section 5.2.1, modèle 1). Le modèle SUR permettrait donc un meilleur ajustement des résidus, améliorant la capacité de prédiction de l'équation.

Tableau 5-9 Résultats du modèle socioécologique (modèle SUR)

Équation	Variable	Coefficient	Valeur p
Socioéconomique	Intercept	5,376	0,002
	Études (préuniversitaire) ¹¹		
	Absence	-0,894 ***	0,006
	Primaire	-1 061 ****	<0,001
	Secondaire	-0,740 ***	0,003
	Localisation (plaine)	-0,231	0,213
	Log (Age ²)	0,419 **	0,035
	Log (Nombre de personnes dans le ménage)	-0,398 **	0,014

¹¹ Les variables sont significatives à * 0,1 ; **0,05 ; *** 0,01 et **** 0,001. Dans la colonne « variable », la caractéristique entre parenthèses représente le facteur ayant été pris pour référence pour les variables factorielles.

Équation	Variable	Coefficient	Valeur p
	Vente à des <i>coyotes</i>	0,243	0,382
	Transformation cacao (sec)		
	Frais	-0,149	0,626
	Lavé	0,163	0,652
	Autres revenus (présence)	0,521 **	0,043
	Log (Années dans la coopérative)	-0,088	0,390
Écologique	Intercept	485,352	0,001
	Taille de la parcelle	-12 979	0,434
	Biomasse aérienne	-0,006	0,264

Aucune des variables de l'équation écologique n'est significative, mais elles conservent le même signe que dans le modèle écologique et la déviation standard de l'intercepte diminue considérablement (de RSE = 0,023 dans le modèle SUR contre RSE = 87 467 dans le modèle des moindres carrés ordinaires). Cela pourrait venir du fait que la majorité des données de l'équation écologique est issue du mappage de données (ce ne sont pas les données « réelles », mais, là encore, des données estimées). De plus, les variables écologiques mesurées pourraient ne pas capter l'ensemble des facteurs corrélés à la productivité de la parcelle et il serait nécessaire d'avoir plus d'informations sur les pratiques de gestion.

Dans l'équation socioéconomique, les variables liées au système de gouvernance (vente à la coopérative et transformation du cacao) ne sont plus significatives, par rapport au modèle 1 (section 5.2.1). Ce point confirme ce qui a été développé précédemment dans le modèle de dépenses mensuelles en équivalent adulte (section 5.2.1, modèle 1) : la différence en termes de revenu entre système coopératif et *coyotes*, et entre les différents types de transformation du cacao, demeure marginale. La significativité de ces variables dans le modèle précédent pourrait venir des caractéristiques des exploitations, qui sont ici captées par l'équation écologique, plus que du système de gouvernance.

Certaines variables pourraient aussi être interprétées spécifiquement comme des variables socioécologiques. Ainsi, la variable « localisation » pourrait être liée aux services écologiques rendus par l'écosystème. En effet, la plaine se caractérise par des usages des sols de milieux ouverts, incluant des zones agricoles en irrigation et des zones agricoles dépendant des précipitations (zones de mono ou polycultures), ainsi que des pâturages cultivés. Les zones de piémont sont dominées par des systèmes

d'arbres et d'arbustes, avec des zones de mono ou polycultures, incluant l'agroforesterie du café, de la vanille, etc. On y rencontre aussi des zones abandonnées correspondant à de la forêt en régénération (observations personnelles). La zone de plaine offre donc moins de connexion du couvert arboré et se caractérise par une agriculture plus intensive (ex. bananeraie avec épandage de pesticides), ce qui réduit les services de pollinisation pour les plantes de sous-bois et de café, de fertilité du sol et, par-là même, la rentabilité des parcelles et donc le revenu (Power, 2010).

6 DISCUSSION

Nous cherchions à identifier les facteurs influençant la résilience économique des ménages des producteurs de cacao et la résilience écologique des parcelles, ainsi que les éventuelles variables socioécologiques de résilience du système d'étude. Les résultats ont souligné plusieurs éléments relatifs à la capacité de résilience de la population étudiée et de l'agroécosystème qu'elle cultive. L'utilisation de modèles liés à la pauvreté monétaire et subjective a permis de faire ressortir certains éléments liés à la résilience communautaire, telle que définie par Norris, Stevens, Pfefferbaum, Wyche et Pfefferbaum (2008). Le modèle de productivité accentue les caractéristiques particulières de la culture du cacao, tandis que le modèle socioécologique souligne la difficulté d'évaluer des modèles pertinents, mais fait ressortir certaines caractéristiques qui peuvent être interprétées comme le fruit de ces interactions socioécologiques.

6.1 Importance du capital humain et de la capacité d'adaptation

Norris, Stevens, Pfefferbaum, Wyche et Pfefferbaum (2008) ont souligné l'importance du capital humain pour résister et s'adapter à une perturbation. Les modèles de pauvreté subjective (perception du bien-être) et de pauvreté monétaire (revenu), qui cherchaient à faire le lien avec les variables socioéconomiques, soulignent cet aspect des cadres conceptuels de résilience. Ainsi, le modèle met en exergue l'importance de l'éducation du chef de famille dans l'atteinte et le maintien de revenus plus élevés. En effet, dans notre échantillon, les ménages les plus riches font partie des groupes d'exploitation qui ont les chefs de famille les plus éduqués (groupe 1 et 5 d'exploitations agricoles, voir section 5.1.2) et dont la majorité des revenus est tournée vers des cultures de rente (café, mangues, etc.). Cela rejoint une vaste littérature qui montre l'importance de l'éducation à divers niveaux dans la capacité de résilience d'un individu et d'une communauté. En effet, si l'éducation permet tout d'abord d'augmenter les opportunités d'emploi, elle améliore aussi l'inclusion de la personne en société et son esprit critique (Robeyns, 2006), devenant une ressource mobilisable lors de l'adaptation à une perturbation (Rich, Edelstein, Hallman et Wandersman, 1995). Lanzi (2007) souligne notamment que l'éducation accroît les capacités de l'individu de vivre en société et de mobiliser les ressources en réseau et, par-là même, augmente l'adaptabilité de l'individu et ses sources potentielles d'emploi. Dans notre étude, un des groupes d'exploitation les plus pauvres présente un haut niveau d'éducation, en comparaison des autres. Ce groupe (qui correspond au groupe 2 de la section 5.2.1) est celui qui a les revenus les mieux répartis entre les différentes possibles sources de revenus. Ils présentent donc une diversité de sources de revenus qui montre leur adaptabilité, et pourrait améliorer leur capacité de résistance et d'adaptation à des stress

ou des perturbations. L'acquisition de compétences et d'un meilleur niveau d'éducation est un élément permettant une croissance économique (Romer, 1990), ce qui peut être pris en compte dans certains modèles de résilience économique (Adger, 2000), et de sortie de la pauvreté (Aghion et Aghion, 2004). De plus, il a été prouvé qu'il est plus simple pour les personnes éduquées d'accepter le changement (Fazey et al., 2007) et d'améliorer leur capacité adaptative à travers l'apprentissage social (Reed et al., 2010), plus ou moins selon le type d'éducation reçu par l'individu (incitant ou non à l'autonomie et à la pensée critique) (Fazey et al., 2007).

Si l'éducation individuelle est importante, le contexte de gouvernance, ici caractérisé par la durée d'appartenance et l'utilisation des services de la coopérative, détermine en partie l'équité et la force des liens communautaires, caractéristiques importantes des systèmes résilients (Norris et al., 2008). Ainsi, le système de gouvernance de la coopérative ne permet pas aux producteurs d'avoir de meilleurs revenus. En effet, ce sont les choix en termes de structures d'exploitation agricole qui permettraient aux producteurs d'avoir de meilleurs revenus, plus que le choix du système de gouvernance. Les exploitations dont le revenu est majoritairement celui des autres produits agricoles sont les plus riches (groupes 1 et 5), tandis que celles choisissant de baser leurs exploitations sur le cacao, ou sur une diversité de sources de revenus (dont d'autres emplois), ont des revenus moins élevés. Toutefois, même si le fait d'appartenir à la coopérative ne permet pas forcément d'augmenter les revenus d'un ménage, il est intéressant de constater que les ménages appartenant depuis plus de temps à la coopérative se sentent moins pauvres que ceux y étant entrés récemment. Ainsi, appartenir à la coopérative pourrait permettre de renforcer le tissu social, composante importante des modèles de résilience (Norris et al., 2008). Cette caractéristique souligne également la pertinence de prendre en compte le bien-être, en plus de la pauvreté monétaire, car il délivre de nouvelles informations et peut être interprété comme un indicateur de l'adaptation de la communauté (Norris et al., 2008).

Au-delà de la structure de la coopérative, les ménages développent des stratégies d'adaptation pour subvenir à leurs besoins. La diversification des revenus est une caractéristique importante des modèles de résilience qui témoigne de la capacité des ménages à mobiliser différentes ressources et à sécuriser les revenus (Magis, 2010). Cela est confirmé ici en partie, car les ménages dans lesquels un des membres de la famille possède un emploi non agricole ont des revenus plus élevés. En revanche, les ménages possédant des volailles se perçoivent comme plus pauvres, alors que la possession d'animaux devrait tendre vers une augmentation du bien-être puisque c'est une façon d'éviter les dépenses supplémentaires (subsistance) voire, s'ils en possèdent beaucoup, une stratégie de diversification des activités

économiques (vente pour certains des ménages). La possession de volaille pourrait ainsi être interprétée comme une stratégie de « placement » de leurs revenus, en consommant les œufs et en s'assurant de pouvoir tuer un animal en cas de difficultés financières. Les ménages y ayant recours peuvent donc se sentir plus pauvres, puisqu'ils n'ont pas les moyens d'acheter de la viande (Gupta, Rai et Risam, 2012). Malgré cette perception, augmenter la diversité de sources de sécurité alimentaire en possédant des volailles est une stratégie d'adaptation et donc de résilience (Bullock et al., 2017).

Enfin, nous nous attendions à trouver des variables de capital (plus un producteur possède une grande taille de parcelle et un grand nombre de bétails, plus son revenu est élevé), classiques dans les modèles liés au revenu, mais cela n'a pas été vérifié. Cette absence pourrait être liée à l'organisation en *ejidos*, qui fait en sorte que tous les producteurs possèdent tous plus ou moins la même taille de parcelle (écart-type = 3,76), qui est plutôt réduite (moyenne = 5,53 ha) en comparaison à la moyenne du Chiapas (16 hectares). Cet agencement, lié à la réforme agraire révolutionnaire, a permis une organisation au niveau communautaire des parcelles cultivées. Très peu de producteurs louent ou sont propriétaires, et ceux qui ont de grandes parcelles le doivent souvent à des regroupements familiaux. (Kourí, 2015) La résilience de la population d'étude semble donc majoritairement reposer sur son capital humain, aussi bien individuel (éducation) que collectif (mise en réseau).

6.2 Pratiques de gestion et particularités de la culture du cacao

Le renforcement de la résilience des services écosystémiques passe en partie par le maintien de la diversité, par la gestion de la connectivité et la régulation des variables lentes, telles que la biomasse (Biggs et al., 2012). Nous nous attendions donc à ce que les parcelles plus diversifiées, mieux connectées (matrice agroforestière) et possédant plus de biomasse (meilleure régulation du système) soient plus productives. Or, nous n'avons pas pu révéler l'effet des caractéristiques écologiques sur la productivité, notamment à cause de l'insuffisance des variables retenues, comme celles sur les pratiques de gestion. Nous avons plutôt pu mettre en évidence des caractéristiques qui peuvent être liées au contexte actuel de culture du cacao, notamment en termes de pratiques de gestion, lesquelles se distinguent des variables écologiques mesurées. Ainsi, la seule variable semblant expliquer les différences de productivité est la taille de la parcelle. Cette variable est un reflet direct des pratiques de gestion : un ménage d'une taille donnée possédant une parcelle plus grande aura moins de temps et de ressources à y consacrer par unité de superficie, et la productivité de sa parcelle pourrait en être diminuée. Cela est notamment appuyé par le fait que le groupe de parcelles qui a une des surfaces les plus réduites en moyenne est aussi celui qui

possède le nombre de travailleurs à l'hectare le plus élevé lors des périodes de récolte et de taille (moyenne = 1,72 travailleur/ha, soit près du double des deux autres types de parcelles, écart-type = 1,22 travailleur/ha). En effet, la culture du cacao nécessite aujourd'hui des pratiques demandant une attention particulière, exigeante en temps pour contrôler la moniliose (Orea et al., 2017). Krauss et al. (2006) soulignent qu'une détection précoce du champignon est nécessaire pour limiter son expansion, ce qui est plus difficile à mettre en place sur les parcelles de grande taille. Cette importance du soin apporté à la parcelle est aussi visible dans une étude sur les pratiques de gestion différenciées entre hommes et femmes dans la culture du cacao au Cameroun : le manque d'accès aux intrants des femmes est compensé par un plus grand soin apporté sur la parcelle (temps passé dans la taille des arbres et l'élimination manuelle des mauvaises herbes), ce qui permet une productivité similaire à celle des parcelles appartenant aux hommes (Kumase, Bisseleua et Klasen, 2010). Ici, ce sont les parcelles qui sont gérées les plus intensivement (choix et densité du couvert forestier) qui présentent la plus grande productivité et une absence de moniliose déclarée par les producteurs.

De même, l'importance de la structure de la parcelle, c'est-à-dire de la composition et de la densité d'arbres d'ombre et de cacaotiers, dépend également des pratiques de gestion et pourrait aussi être déterminante. En effet, si aucune variable du sol ne s'est avérée significative, cela pourrait s'expliquer par le fait que la productivité de la parcelle dépend aujourd'hui avant tout de l'ombre, qui détermine en partie la prévalence de moniliose. Le fait que la biomasse aérienne des arbres d'ombre apparaisse dans le modèle de productivité, même si la variable n'est pas significative, est déjà un indicateur de l'effet du couvert forestier sur la productivité. Gérer l'ombre sur la parcelle est complexe, puisque qu'il s'agit de trouver un équilibre entre les interactions de compétition entre les arbres pour, par exemple, les nutriments et la lumière (Deheuvels, Avelino, Somarriba et Malezieux, 2012) et les services écosystémiques qu'ils rendent, tels que la régulation du climat et des pathogènes, et la pollinisation (Blaser, Oppong, Yeboah et Six, 2017). D'après nos observations lors des entretiens, il semble que le choix de conserver un couvert forestier dense est souvent basé sur les valeurs des producteurs (traditionalisme et volonté de conserver des pratiques de gestion héritées des parents, ou bien valeurs de respect et de conservation de la nature), plus que sur la conscience des services écosystémiques qui peuvent être fournis, même si ceux-ci sont parfois évoqués (notamment dans des contextes d'adaptation aux changements climatiques ou de contrôle des animaux parasites). Par les informations qu'ils ont reçues, de nombreux producteurs pensent aussi que l'humidité retenue grâce aux arbres d'ombre est à l'origine de la moniliose (Krauss et al., 2006). Étudier la structure spatiale des parcelles (répartition, densité et

composition des arbres d'ombre) pourrait être une meilleure façon d'avoir une idée réelle de l'ombre et des services offerts par le couvert forestier selon l'espèce et sa densité, plutôt que de simples indicateurs de diversité et d'occurrence (Somarriba et al., 2013).

La productivité agronomique dépend en partie des caractéristiques de la parcelle, telles que la biomasse ou la diversité. De plus, dans notre cas particulier et dans le contexte de l'épidémie de moniliose qui a touché le Soconusco en 2010, les parcelles conservant mieux les services écosystémiques auraient dû être plus stables et donc conserver une bonne productivité. Cependant, la productivité agronomique ne permet pas forcément de bien capter les déterminants de la résilience agroécologique, car cela dépend du moment de la prise des données et de l'âge de la parcelle. Par exemple, on pourrait observer une productivité améliorée peu de temps après avoir éliminé une partie des arbres d'ombre (Clough, Faust et Tschardt, 2009), mais avec un coût pour la résilience à long terme. Cela a été souligné dans d'autres travaux : si les cacaotiers situés sous les arbres d'ombre sont plus petits et moins productifs en fruits (Blaser et al., 2017), cela serait plus durable et productif sur le long terme (Richard et Røed, 2016). Ainsi, des parcelles échantillonnées dans cette étude pourraient avoir présenté une productivité élevée causée par la coupe récente d'arbres d'ombre afin de lutter contre la moniliose. Une étude longitudinale pourrait permettre de mieux saisir l'évolution des parcelles et d'évaluer la durabilité des pratiques de gestion mises en place par les producteurs (Yee et Niemeier, 1996).

6.3 Forces et limites du modèle socioécologique

La construction de modèles socioécologiques est nécessaire pour comprendre les interactions entre écosystèmes et sociétés humaines. Les résultats de notre modèle confirment l'importance de la majorité des variables de l'équation socioéconomique, dont certaines peuvent être interprétées comme des variables socioécologiques (ex : services écosystémiques à travers la variable de localisation, voir partie 5.2.3). Toutefois, le modèle est à interpréter avec parcimonie, puisqu'une partie des données ont été estimées (mapping) et non observées sur le terrain. Ceci pourrait expliquer l'absence de variables significatives de l'équation de productivité au sein du modèle écologique. Il serait nécessaire de construire un modèle plus robuste, en collectant plus de variables écologiques (au moins sur une soixantaine de parcelles) et en mettant en place une méthode d'estimation des paramètres plus solide (ex. bootstrapping).

Le modèle présenté permet tout de même de donner une première estimation et de s'apercevoir des liens entre variables socioéconomiques et écologiques, notamment à travers le paysage qui peut être

interprété comme une illustration des services écosystémiques. En effet, le modèle, bien qu'il ne présente pas de corrélation forte entre les équations, confirme tout de même les liens entre les sphères écologiques et socioéconomiques (diminution des erreurs standards résiduelles). L'étude montre ainsi qu'il est possible d'intégrer des variables précises concernant à la fois le système social et le système écologique, même si cela demande un effort plus important dans la collecte des données. Mener une collecte de données avec des méthodologies spécifiques à chacun des systèmes permet d'obtenir un instantané objectif de l'état précis du système. Il est aussi important d'identifier les liens socioécologiques et les mécanismes d'interactions humains — écosystèmes (ex. pratiques de gestion), car c'est sur ceux-ci qu'il est possible d'agir afin de mettre en place des pratiques plus durables.

Ainsi, pour améliorer notre modèle, il aurait été nécessaire d'avoir des données plus précises sur les pratiques de gestion, via des entretiens portant sur les pratiques exercées par les producteurs sur leur parcelle (durée, fréquence, type). Cette information aurait été enrichie si elle avait pu être complétée par une typologie plus précise des parcelles et de leur organisation, comme cela était prévu au départ, en se basant notamment sur la luminosité pénétrant au sol et la structure verticale de la parcelle (composition et nombre de strates arborées). Ces données auraient nécessité au moins le double du temps passé sur le terrain (au moins deux à trois mois supplémentaires) pour effectuer des entretiens plus longs, compléter le nombre de parcelles et tenir compte des particularités de la méthodologie (ex. les mesures de luminosité ne peuvent se faire que tôt le matin, avant que le soleil ne soit trop haut dans le ciel). Elles auraient permis de mieux identifier les facteurs influençant la productivité de la parcelle, ainsi que la durabilité des pratiques de gestion. Une partie des entretiens aurait pu se faire sur un mode participatif, pour diminuer ce temps de travail et mieux comprendre les perceptions et visions des producteurs, vis-à-vis de la gestion de leur parcelle, notamment pour la moniliose.

Cependant, bien que le modèle ne parvienne pas à bien capter les facteurs influençant la productivité à cause du manque de données sur les pratiques de gestion, il souligne bien l'importance des capitaux humains, qu'ils soient individuels ou communautaires, dans la lutte contre la pauvreté et leur importance pour développer la résilience des populations. Les résultats rejoignent ainsi plusieurs composantes nécessaires au développement durable, telles que soulignées par les Objectifs de Développement Durable (ODD) : l'importance de l'éducation (ODD 4), la nécessité de renforcer la résilience des populations vulnérables (ODD 1) et l'autonomisation des personnes en favorisant notamment leur intégration sociale (ODD 10).

CONCLUSION

Le mémoire trouve son origine dans l'observation que les systèmes socioécologiques sont de plus en plus soumis à des stress et des perturbations, comme la dégradation des terres, et qu'il apparaît comme nécessaire de renforcer leur capacité de résilience. Les systèmes agricoles sont fortement touchés par ces perturbations, d'autant plus que les modèles de production proposés lors de la Révolution Verte ne sont pas durables. Dans ce cadre, cette étude visait à identifier les facteurs influençant la résilience des producteurs et d'un agrosystème de cacao, en se positionnant à l'échelle des ménages et des parcelles, dans le sud-ouest du Mexique. Elle s'inscrit par-là dans les Objectifs de Développement Durable, tels que développés par l'ONU, dont le premier cherche notamment à renforcer la résilience des populations les plus pauvres et diminuer leur vulnérabilité.

Les modèles de pauvreté, basés sur les dépenses mensuelles en équivalent adulte et sur la perception du bien-être, permettent d'identifier plusieurs facteurs influençant la résilience communautaire. Le résultat principal souligne l'importance du capital humain, qu'il soit individuel à travers l'éducation des chefs de famille, ou collectif à travers le tissu social (encadrement par la coopérative). En effet, si le système coopératif n'assure pas un meilleur revenu aux producteurs, les ménages en faisant partie depuis longtemps semblent se sentir moins pauvres, soulignant l'importance des structures d'accompagnement. La coopérative pourrait donc renforcer le tissu social, en créant un réseau de producteurs et des possibilités d'apprentissage pour ceux en bénéficiant. L'absence de bénéfice sur le revenu pourrait notamment s'expliquer par les problèmes de gestion de l'organisation lors des dernières années. Les ménages semblent donc avoir créé d'autres mécanismes pour maintenir et améliorer leurs revenus. Les exploitations les plus riches sont avant tout basées sur des cultures de rente, autres que le cacao. Pour les exploitations les plus pauvres, on retrouve une caractéristique des systèmes résilients : la diversification des sources de revenus, comme une stratégie développée pour résister aux stress et maintenir leur niveau de vie.

Il serait possible pour la coopérative CASFA de poursuivre cet accompagnement et d'améliorer encore son modèle de gestion. En effet, le fonctionnement basé sur les « chefs de communauté » qui reçoivent le cacao frais des autres producteurs et le fermentent ne semble pas améliorer la qualité de vie des producteurs, notamment à cause du manque de suivi des dernières années, qui a entraîné des retards de paiement. Mettre en place des formations pour que l'ensemble des producteurs puisse fermenter leur propre cacao serait une première étape. Pour ceux qui ne possèdent pas de matériel (caisse de

fermentation) ou pour qui la production n'est pas suffisante (nécessité d'un volume suffisant de grains pour que la fermentation soit qualitative), il pourrait être utile que des structures communes soient mises à disposition des ménages pour qu'ils puissent fermenter et sécher leur cacao. Un suivi plus encadré de l'ensemble des *ejidos* est aussi nécessaire : en plus de la certification biologique, les ingénieurs de la coopérative devraient suivre les parcelles et les producteurs à travers des ateliers, ainsi qu'organiser le transport du cacao fermenté vers le siège de la coopérative pour qu'il soit accessible à tous.

L'étude révèle également l'impact important des pratiques de gestion sur la productivité de la parcelle. Elle souligne ainsi les particularités de la culture du cacao, notamment le temps nécessaire à la gestion de la couverture forestière et à son incidence sur l'extensivité de la moniliose. Les variables écologiques (diversité, biomasse, matrice paysagère) ne sont pas mises en évidence. Cela pourrait s'expliquer de diverses façons : le choix de la variable dépendante demeure anthropocentrique (productivité), la petite taille de l'échantillon ou encore la complexité des phénomènes régissant les interactions entre productivité et ombre. Mener une étude sur une série temporelle pour évaluer l'évolution de la situation entre différents types de gestion de l'ombre sur les parcelles permettrait de mieux capter la résilience et la variation de la productivité.

Il apparaît nécessaire de poursuivre l'édification de modèles socioécologiques consistants, à la fois dans le choix des variables socioéconomiques et écologiques, pour statuer sur la durabilité des systèmes et faciliter la prise de décision dans la gestion des écosystèmes. Dans le cadre des modèles agricoles, les pratiques de gestion sont des variables clés pour statuer de la durabilité et de la capacité de résilience du système, et elles manquent à l'étude. Enfin, si les modèles témoignent de la situation à l'échelle locale, il serait aussi nécessaire de développer des modèles systémiques et concernant des politiques globales, afin de comprendre et gérer des enjeux à une échelle plus large (ex. connectivité) (Anderies et al, 2013). Bodin, Barnes, McAllister, Rocha et Guerrero (2017) suggèrent la mise en lien des différentes études et la création d'un réseau de systèmes socioécologiques afin d'aller au-delà des cas uniques et de mieux comprendre l'interdépendance entre composantes écologiques, régulations et usages. Étendre l'étude à d'autres organisations de producteurs, pour avoir un échantillon représentatif de la situation à un niveau régional, serait également nécessaire pour orienter les politiques publiques, notamment celles d'aide au milieu agricole et de subventions à certaines filières.

LISTE DE RÉFÉRENCES

- Accardo, J. (2007). Du bon usage des échelles d'équivalence. *Informations sociales*, (1), 36–45.
- Adger, W. N. (2000). Social and ecological resilience: are they related? *Progress in human geography*, 24(3), 347-364.
- Adger, W. N. (2006). Vulnerability. *Global Environmental Change*, 16(3), 268-281. doi:10.1016/j.gloenvcha.2006.02.006
- Aghion, P. et Aghion, B. A. (2004). A new growth approach to poverty alleviation. *Understanding poverty*, 73–84.
- Alimentation et agriculture durables. (s. d.). *Food and Agriculture Organization of the United Nations*. Repéré à <http://www.fao.org/sustainability/fr/>
- Anderies, J., Folke, C., Walker, B. et Ostrom, E. (2013). Aligning key concepts for global change policy: robustness, resilience, and sustainability. *Ecology and society*, 18(2).
- Anderies, J. M., Ryan, P. et Walker, B. H. (2006). Loss of resilience, crisis, and institutional change: lessons from an intensive agricultural system in southeastern Australia. *Ecosystems*, 9(6), 865-878.
- Arvelo, M. A., González León, D., Delgado, T., Maroto, S. et Montoya López, P. (2017). *Manual técnico del cultivo de cacaoprácticas latinoamericanas*. IICA, San José (Costa Rica).
- Avendaño Arrazate, C. H., Fuentes, V., Rojas, C., Méndez, G., López, M., Medina, A., ... Zaragoza, E. (2011). *Diagnóstico del cacao en México*.
- Banque du Canada. (s. d.). Taux de change mensuels. Repéré à <https://www.banqueducanada.ca/taux/taux-de-change/taux-de-change-mensuels/>
- Beer, J., Harvey, C. A., Ibrahim, M., Harmand, J.-M., Somarriba Chavez, E. et Jimenez, F. (2003). Fonctions de service des systèmes agroforestiers.
- Béné, C., Newsham, A., Davies, M., Ulrichs, M. et Godfrey-Wood, R. (2014). Resilience, poverty and development. *Journal of International Development*, 26(5), 598-623.
- Biggs, R., Schlüter, M., Biggs, D., Bohensky, E. L., BurnSilver, S., Cundill, G., ... Kotschy, K. (2012). Toward principles for enhancing the resilience of ecosystem services. *Annual review of environment and resources*, 37, 421-448.
- Binder, C. R., Hinkel, J., Bots, P. W. et Pahl-Wostl, C. (2013). Comparison of frameworks for analyzing social-ecological systems. *Ecology and Society*, 18(4).
- Blaser, W. J., Oppong, J., Yeboah, E. et Six, J. (2017). Shade trees have limited benefits for soil fertility in cocoa agroforests. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 243, 83-91.
- Bodin, Ö. et Tengö, M. (2012). Disentangling intangible social–ecological systems. *Global Environmental Change*, 22(2), 430-439.
- Brown, K. et Westaway, E. (2011). Agency, capacity, and resilience to environmental change: lessons from human development, well-being, and disasters. *Annual review of environment and resources*, 36, 321-342.
- Brown, S., Lugo, A. E. et Iverson, L. R. (1992). Processes and lands for sequestering carbon in the tropical forest landscape. Dans *Natural Sinks of CO2* (p. 139-155). Springer.
- Bruneau, M., Chang, S. E., Eguchi, R. T., Lee, G. C., O'Rourke, T. D., Reinhorn, A. M., ... Von Winterfeldt, D. (2003). A framework to quantitatively assess and enhance the seismic resilience of communities. *Earthquake spectra*, 19(4), 733-752.
- Buchert, J. P. (s. d.). Fermentación del Cacao – Aspectos generales, 38.
- Bullock, J. M., Dhanjal-Adams, K. L., Milne, A., Oliver, T. H., Todman, L. C., Whitmore, A. P. et Pywell, R. F. (2017). Resilience and food security: rethinking an ecological concept. *Journal of Ecology*, 105(4), 880-884. doi:10.1111/1365-2745.12791
- Butler, L., Morland, L. et Leskin, G. (2007). Psychological resilience in the face of terrorism. *Psychology of terrorism*, 400-417.

- Cabell, J. F. et Oelofse, M. (2012). An indicator framework for assessing agroecosystem resilience. *Ecology and Society*, 17(1).
- Cacao México. (2009). Cacao en México. Repéré à https://cacaomexico.org/?page_id=1051
- Calvo Blanco, J. (2018). Ejido | Mexico. *Enciclopedia Jurídica Online*. Repéré à <https://mexico.leyderecho.org/ejido/>
- CEPAL, N. (2017). Perspectivas de la agricultura y del desarrollo rural en las Américas: una mirada hacia América Latina y el Caribe 2017-2018.
- Chambers, R. et Conway, G. (1992). *Sustainable rural livelihoods: practical concepts for the 21st century*. Institute of Development Studies (UK).
- Charvet, J.-P. (2013). *Atlas de l'agriculture. Comment nourrir le monde en 2050?* Autrement.
- Chavan, B. et Rasal, G. (2012). Total sequestered carbon stock of *Mangifera indica*. *Journal of Environment and Earth science*, 2(1).
- Chiesura, A. et De Groot, R. (2003). Critical natural capital: a socio-cultural perspective. *Ecological Economics*, 44(2-3), 219–231.
- Clough, Y., Faust, H. et Tscharntke, T. (2009). Cacao boom and bust: sustainability of agroforests and opportunities for biodiversity conservation. *Conservation Letters*, 2(5), 197-205.
- Consejo Nacional de Evaluación de la Política de Desarrollo Social (CONEVAL). (2016). Pobreza 2016. Repéré à <https://www.coneval.org.mx/coordinacion/entidades/Chiapas/Paginas/Pobreza-2016.aspx>
- Consejo Nacional de Evaluación de la Política de Desarrollo Social (CONEVAL). (2019). Evolución de las líneas de pobreza por ingresos. Repéré à <https://www.coneval.org.mx/Medicion/MP/Paginas/Lineas-de-bienestar-y-canasta-basica.aspx>
- Conway, G. R. (1987). The properties of agroecosystems. *Agricultural systems*, 24(2), 95-117.
- Cooke, I. R., Queenborough, S. A., Mattison, E. H., Bailey, A. P., Sandars, D. L., Graves, A. R., ... Freckleton, R. P. (2009). Integrating socio-economics and ecology: a taxonomy of quantitative methods and a review of their use in agro-ecology. *Journal of Applied Ecology*, 46(2), 269-277.
- Cretney, R. (2014). Resilience for whom? Emerging critical geographies of socio-ecological resilience. *Geography Compass*, 8(9), 627-640.
- Cumming, G. S. et Collier, J. (2005). Change and identity in complex systems. *Ecology and society*, 10(1).
- Dabin, B. (1971). Étude d'une méthode d'extraction de la matière humique du sol. *Science du Sol*, 1, 47–63.
- De Janvry, A. et Sadoulet, E. (2000). Rural poverty in Latin America: Determinants and exit paths. *Food policy*, 25(4), 389-409.
- De Lange, H. J., Sala, S., Vighi, M. et Faber, J. H. (2010). Ecological vulnerability in risk assessment—a review and perspectives. *Science of the total environment*, 408(18), 3871-3879.
- Deheuvels, O., Avelino, J., Somarriba, E. et Malezieux, E. (2012). Vegetation structure and productivity in cocoa-based agroforestry systems in Talamanca, Costa Rica. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 149, 181-188.
- Díaz-José, J., Díaz-José, O., Mora-Flores, S., Rendón-Medel, R. et Tellez-Delgado, R. (2014). Cacao in México: Restrictive factors and productivity levels. *Chilean journal of agricultural research*, 74(4), 397-403.
- Downes, B. J., Miller, F., Barnett, J., Glaister, A. et Ellemor, H. (2013). How do we know about resilience? An analysis of empirical research on resilience, and implications for interdisciplinary praxis. *Environmental Research Letters*, 8(1), 014041. doi:10.1088/1748-9326/8/1/014041
- End, M., Daymond, A. et Hadley, P. (2014). *Guide technique pour les transferts sécurisés de matériel génétique de cacaoyer* (n° 20). Montpellier, France : FAO/IPGRI.
- Escalante-Sandoval, C. et Amores-Rovelo, L. (2014). Análisis de tendencia de las variables hidroclimáticas de la Costa de Chiapas. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 5(1), 61–75.

- Evenson, R. E. et Gollin, D. (2003). Assessing the impact of the Green Revolution, 1960 to 2000. *science*, 300(5620), 758-762.
- FAO. (1996). Les leçons de la révolution verte - vers une nouvelle révolution verte. Repéré à <http://www.fao.org/docrep/003/w2612f/w2612f6a.htm>
- FAO. (s. d.). Sustainable livelihoods | Guide for Monitoring and Evaluating Land Administration Programs. Repéré à <http://www.fao.org/in-action/herramienta-administracion-tierras/module-1/proposed-methodology/sustainable-livelihoods/fr/>
- Farley, J. (2012). Ecosystem services: The economics debate. *Ecosystem services*, 1(1), 40-49.
- Fazey, I., Fazey, J. A., Fischer, J., Sherren, K., Warren, J., Noss, R. F. et Dovers, S. R. (2007). Adaptive capacity and learning to learn as leverage for social–ecological resilience. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 5(7), 375-380.
- Fiebig, D. G. (2001). Seemingly unrelated regression. *A companion to theoretical econometrics*, 101–121.
- Folke, C. (2006). Resilience: The emergence of a perspective for social–ecological systems analyses. *Global environmental change*, 16(3), 253-267.
- Folke, C. (2016). Resilience (republished). *Ecology and Society*, 21(4).
- Folke, C., Carpenter, S., Walker, B., Scheffer, M., Elmqvist, T., Gunderson, L. et Holling, C. S. (2004). Regime shifts, resilience, and biodiversity in ecosystem management. *Annu. Rev. Ecol. Evol. Syst.*, 35, 557-581.
- FORMAN, R. T. et GODRON, M. (1986). *Landscape Ecology*. New York: John Wiley & Sons. Inc.
- Francis, C., Lieblein, G., Gliessman, S., Breland, T. A., Creamer, N., Harwood, R., ... Salvador, R. (2003). Agroecology: The ecology of food systems. *Journal of sustainable agriculture*, 22(3), 99-118.
- Frangi, J. L. et Lugo, A. E. (1985). Ecosystem dynamics of a subtropical floodplain forest. *Ecological Monographs*, 55(3), 351-369.
- Gaiha, R. (1993). *Design of poverty alleviation strategy in rural areas*. Food & Agriculture Org.
- Gallopín, G. C. (2006). Linkages between vulnerability, resilience, and adaptive capacity. *Global Environmental Change*, 16(3), 293-303. doi:10.1016/j.gloenvcha.2006.02.004
- García, R. (2018, 14 septembre). Habrá planta extractora de aceite en Huehuetán. *Cuarto Poder de Chiapas*. Repéré à <https://www.cuartopoder.mx/chiapas/habra-planta-extractora-de-aceite-en-huehuetan/258368>
- Gobierno del Estado de Chiapas. (s. d.). SOCONUSCO.pdf. Repéré à http://www.ceieg.chiapas.gob.mx/productos/files/MAPASTEMREG/REGION_X_SOCONUSCO_Po st.pdf
- Gobierno Mexicano. (2010). *Programa de desarrollo regional - Región x Soconusco*. Repéré à <http://www.haciendachiapas.gob.mx/planeacion/Informacion/Desarrollo-Regional/prog-regionales/SOCONUSCO.pdf>
- Gunderson, L. H. (2000). Ecological resilience—in theory and application. *Annual review of ecology and systematics*, 31(1), 425-439.
- Gupta, V., Rai, P. K. et Risam, K. S. (2012). Integrated crop-livestock farming systems: A strategy for resource conservation and environmental sustainability. *Indian Research Journal of Extension Education, Special Issue*, 2, 49-54.
- Hairiah, K., Sitompul, S. M., van Noordwijk, M. et Palm, C. (2001). *Methods for sampling carbon stocks above and below ground*. ICRAF Bogoi.
- Henderson, T. P. (2017). La reestructuración de los sectores del café y el cacao en México y Ecuador. Control agroempresarial de la tierra y trabajo campesino. *LiminaR*, 15(1), 128–141.
- Henningesen, A. et Hamann, J. D. (2007). systemfit: A Package for Estimating Systems of Simultaneous Equations in R. (version Software 23(4), 1–40.). Repéré à <http://www.jstatsoft.org/v23/i04/>.
- Hernández-Gómez, E., Hernández-Morales, J., Avendaño-Arrazate, C. H., López-Guillen, G., Garrido-Ramírez, E. R., Romero-Nápoles, J. et Nava-Díaz, C. (2015). Factores socioeconómicos y

- parasitológicos que limitan la producción del cacao en Chiapas, México. *Revista mexicana de fitopatología*, 33(2), 232-246.
- Herrejón, G. R. (2007). *La reforma agraria de 1992: impactos en ejidos y comunidades del Estado de México*. UAEMEX.
- Holling, C. S. (1996). Engineering resilience versus ecological resilience. *Engineering within ecological constraints*, 31(1996), 32.
- INEGI. (s. d.). Edafología. Repéré à <https://www.inegi.org.mx/temas/edafologia/>
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (México). (2017). *Anuario Estadístico y geográfico de Chiapas 2017* (p. 736). INEGI.
- IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change). (2019). *IPCC Special Report on Climate Change, Desertification, Land Degradation, Sustainable Land Management, Food Security, and Greenhouse gas fluxes in Terrestrial Ecosystems. Summary for Policymakers*. Repéré à https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2019/08/Edited-SPM_Approved_Microsite_FINAL.pdf
- IPCC, Penman, J. et IPCC National Greenhouse Gas Inventories Programme (dir.). (2003). *Good practice guidance for land use, land-use change and forestry /The Intergovernmental Panel on Climate Change*. Ed. by Jim Penman. Hayama, Kanagawa.
- Islam, S. N. et Winkel, J. (2017). Climate Change and Social Inequality, 32.
- IUSS Working Group WRB. (2015). *Base de référence mondiale pour les ressources en sols 2014 - Système international de classification des sols pour nommer les sols et élaborer des légendes de cartes pédologiques* (n° 106). Rome : FAO. Repéré à <http://www.fao.org/3/i3794fr/i3794FR.pdf>
- Jamnadas, R., Place, F., Torquebiau, E., Malézieux, E., Liyama, M., Sileshi, G., ... Dawson, I. (2013). Agroforestry, food and nutritional security.
- King, M. F., Renó, V. F. et Novo, E. M. (2014). The concept, dimensions and methods of assessment of human well-being within a socioecological context: a literature review. *Social indicators research*, 116(3), 681–698.
- Kingdon, G. G. et Knight, J. (2006). Subjective well-being poverty vs. income poverty and capabilities poverty? *The Journal of Development Studies*, 42(7), 1199-1224.
- Kohler, F., Kotiaho, J. S., Bhagwat, S. A., Navarro, L., Reid, R. S., Wang, T. et Desrousseaux, M. (2018). Concepts and perceptions of land degradation and restoration.
- Koohafkan, P., Altieri, M. A. et Gimenez, E. H. (2012). Green Agriculture: foundations for biodiverse, resilient and productive agricultural systems. *International Journal of Agricultural Sustainability*, 10(1), 61-75.
- Kotzee, I. et Reyers, B. (2016). Piloting a social-ecological index for measuring flood resilience: A composite index approach. *Ecological Indicators*, 60, 45-53.
- Kourí, E. (2015, 1 janvier). La invención del ejido. *NEXOS*. Repéré à <https://www.nexos.com.mx/?p=23778>
- Krauss, U., Steuten, C., Adonijah, V. et Holmes, K. (2006). 1.2 Early detection of frosty pod rot as key to cost-effective control.
- Kumase, W. N., Bisseleua, H. et Klasen, S. (2010). *Opportunities and constraints in agriculture: A gendered analysis of cocoa production in Southern Cameroon*. Courant Research Centre: Poverty, Equity and Growth-Discussion Papers.
- Laderchi, C. R., Saith, R. et Stewart, F. (2003). Does it matter that we do not agree on the definition of poverty? A comparison of four approaches. *Oxford development studies*, 31(3), 243–274.
- Lajous, R. (2012). *Historia mínima de las relaciones exteriores de México, 1821-2000*. El Colegio de Mexico AC.
- Lal, R. et Stewart, B. A. (2010). *Food security and soil quality*. CRC Press.
- Landis, D. A. (2017). Designing agricultural landscapes for biodiversity-based ecosystem services. *Basic and Applied Ecology*, 18, 1-12.

- Lanzi, D. (2007). Capabilities, human capital and education. *The Journal of Socio-Economics*, 36(3), 424-435.
- Law, B. E., Arkebauer, T., Campbell, J. L., Chen, J., Sun, O., Schwartz, M., ... Chen, J. (2008). *Terrestrial Carbon Observations: Protocols for Vegetation Sampling and Data Submission*. TCO—Terrestrial Carbon Observations panel of the Global Terrestrial Observing System (GTOS).
- Lawton, J. H. (1994). What do species do in ecosystems? *Oikos*, 367-374.
- Leakey, R. (1996). Definition of agroforestry revisited. *Agroforestry today*, 8, 5-5.
- Legendre, P. et Legendre, L. F. (2012). *Numerical ecology* (vol. 24). Elsevier.
- Leslie, H. M., Basurto, X., Nenadovic, M., Sievanen, L., Cavanaugh, K. C., Cota-Nieto, J. J., ... Moreno-Báez, M. (2015). Operationalizing the social-ecological systems framework to assess sustainability. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 201414640.
- López Mendoza, R. (1987). *El cacao en Tabasco*.
- Lutheran World Relief (LWR). (2013). *Aprendiendo e innovando sobre la poda de cacao y el manejo de árboles acompañantes en sistemas agroforestales*. Repéré à https://censalud.ues.edu.sv/CDOC-Deployment/documentos/19_Guia_5_Poda.pdf
- Maechler, M., Rousseeuw, P., Struyf, A., Hubert, M., Hornik, K. et Studer, M. (2013). Package 'cluster'. *Dosegljivo na*.
- Magis, K. (2010). Community resilience: An indicator of social sustainability. *Society and Natural Resources*, 23(5), 401-416.
- Masten, A. S., Best, K. M. et Garmezy, N. (1990). Resilience and development: Contributions from the study of children who overcome adversity. *Development and psychopathology*, 2(4), 425-444.
- Mazerolle, M. J. (2019). AICcmodavg: Model selection and multimodel inference based on (Q)AIC(c). (version R package version 2.2-2.). Repéré à <https://cran.r-project.org/package=AICcmodavg>.
- Mbow, C. et Rosenzweig, C. (2019). *Chapter 5: Food security*. IPCC. Repéré à https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2019/08/2f.-Chapter-5_FINAL.pdf
- McElroy, M. B. (1977). Goodness of fit for seemingly unrelated regressions: Glahn's r^2_{yx} and Hooper's r^2 . *Journal of Econometrics*, 6(3), 381-387.
- McGinnis, M. D. et Ostrom, E. (2014). Social-ecological system framework: initial changes and continuing challenges. *Ecology and Society*, 19(2).
- McNeil, C. L. (2009). *Chocolate in Mesoamerica: a cultural history of cacao*. University Press of Florida.
- Meléndez-Ackerman, E., Santiago-Bartolomei, R., Vila-Ruiz, C., Santiago, L., García-Montiel, D., Verdejo-Ortiz, J., ... Hernández-Calo, E. (2014). Socioeconomic drivers of yard sustainable practices in a tropical city. *Ecology and Society*, 19(3). doi:10.5751/ES-06563-190320
- Millennium Ecosystem Assessment. (2005). *Ecosystems and human well-being: our human planet: summary for decision-makers* (vol. 5). Island Pr.
- Morse, S. et McNamara, N. (2013). *Sustainable livelihood approach: A critique of theory and practice*. Springer Science & Business Media.
- Mumby, P. J., Chollett, I., Bozec, Y.-M. et Wolff, N. H. (2014). Ecological resilience, robustness and vulnerability: how do these concepts benefit ecosystem management? *Current Opinion in Environmental Sustainability*, 7, 22-27.
- Naeem, S., Bunker, D. E., Hector, A., Loreau, M. et Perrings, C. (2009). *Biodiversity, ecosystem functioning, and human wellbeing: an ecological and economic perspective*. Oxford University Press.
- Nair, P. R. (1998). Directions in tropical agroforestry research: past, present, and future. Dans *Directions in Tropical Agroforestry Research* (p. 223-245). Springer.
- Nath, C. D., Pélissier, R. et Garcia, C. (2010). Comparative efficiency and accuracy of variable area transects versus square plots for sampling tree diversity and density. *Agroforestry systems*, 79(2), 223-236.

- Nie, Z., McLean, T., Clough, A., Tocker, J., Christy, B., Harris, R., ... McCaskill, M. (2016). Benefits, challenges and opportunities of integrated crop-livestock systems and their potential application in the high rainfall zone of southern Australia: A review. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 235, 17-31.
- Nkonya, E., Mirzabaev, A. et Von Braun, J. (2016). *Economics of land degradation and improvement: a global assessment for sustainable development* (vol. 686). Springer International Publishing Cham, Switzerland.
- Norgaard, R. B. (2008). Finding hope in the millennium ecosystem assessment. *Conservation Biology*, 22(4), 862–869.
- Norris, F. H., Stevens, S. P., Pfefferbaum, B., Wyche, K. F. et Pfefferbaum, R. L. (2008). Community resilience as a metaphor, theory, set of capacities, and strategy for disaster readiness. *American journal of community psychology*, 41(1-2), 127-150.
- O'Donnell, O., Van Doorslaer, E., Wagstaff, A. et Lindelow, M. (2007). *Analyzing Health Equity Using Household Survey Data: A Guide to Techniques and their Implementation*. The World Bank. doi:10.1596/978-0-8213-6933-3
- Oksanen, J., Blanchet, F. G., Friendly, M., Kindt, R., Legendre, P., McGlinn, D., ... Wagner, H. (2019). vegan: Community Ecology Package. (version R package version 2.5-6.). Repéré à <https://CRAN.R-project.org/package=vegan>
- ONU. (2018). Développement durable. Repéré à <https://www.un.org/sustainabledevelopment/fr/>
- Orea, M. D. D., Romero-Cortes, T., Lopez-Perez, P. A., Espana, V. H. P., Ramirez-Lepe, M. et Cuervo-Parra, J. A. (2017). Current Status of Cocoa Frosty Pod Rot Caused by *Moniliophthora roreri* and a Phylogenetic Analysis. *Plant Pathology Journal*, 16(1), 41-53.
- Ostrom, E. (2009). A general framework for analyzing sustainability of social-ecological systems. *Science*, 325(5939), 419–422.
- Paniagua, A. (1983). Chiapas en la coyuntura centroamericana. *Cuadernos Políticos*, 38, 36–54.
- Parker, K. R. (1979). Density estimation by variable area transect. *The Journal of Wildlife Management*, 484-492.
- Périchon, S. et Quique, R. (2013). L'agroforesterie du cacao est-elle menacée dans le Soconusco? Evaluation des savoirs paysans de sélection des semences et caractérisation de la diversité arborée (Chiapas, Mexique). *Noréis. Environnement, aménagement, société*, (226), 79-89.
- Perrier, A. (2004). Une réflexion interdisciplinaire à l'Académie d'agriculture de France. *Natures Sciences Sociétés*, 12(4), 418-423.
- Phillips-Mora, W. et Wilkinson, M. J. (2007). Frosty pod of cacao: a disease with a limited geographic range but unlimited potential for damage. *Phytopathology*, 97(12), 1644-1647.
- Pingali, P. L. (2012). Green revolution: impacts, limits, and the path ahead. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 109(31), 12302-12308.
- Power, A. G. (2010). Ecosystem services and agriculture: tradeoffs and synergies. *Philosophical transactions of the royal society B: biological sciences*, 365(1554), 2959-2971.
- Powis, T. G., Hurst, W. J., del Carmen Rodríguez, M., Blake, M., Cheetham, D., Coe, M. D., ... Ortiz, P. C. (2007). Oldest chocolate in the New World. *Antiquity Journal, Gallery* 81, 314.
- Reed, M., Evely, A. C., Cundill, G., Fazey, I. R. A., Glass, J., Laing, A., ... Raymond, C. (2010). What is social learning? *Ecology and society*.
- Reid, W., Watson, R. T., Zakri, A. H., Arico, S., Bridgewater, P., Diallo, H. A., ... Harms, E. (2005). Living beyond our means: natural assets and human well-being. *Millenium ecosystem assessment. United Nations*.
- Rich, R. C., Edelstein, M., Hallman, W. K. et Wandersman, A. H. (1995). Citizen participation and empowerment: The case of local environmental hazards. *American journal of community psychology*, 23(5), 657-676.

- Richard, A. et Ræbild, A. (2016). Tree diversity and canopy cover in cocoa systems in Ghana. *New Forests*, 47(2), 287-302.
- Rissman, A. R. et Gillon, S. (2017). Where are ecology and biodiversity in social–ecological systems research? A review of research methods and applied recommendations. *Conservation Letters*, 10(1), 86-93.
- Robeyns, I. (2006). Three models of education: Rights, capabilities and human capital. *Theory and research in education*, 4(1), 69-84.
- Rockström, J., Steffen, W., Noone, K., Persson, Å., Chapin, F. S. I., Lambin, E., ... Foley, J. (2009). Planetary Boundaries: Exploring the Safe Operating Space for Humanity. *Ecology and Society*, 14(2). doi:10.5751/ES-03180-140232
- Romer, P. M. (1990). Endogenous technological change. *Journal of political Economy*, 98(5, Part 2), S71-S102.
- SAGARPA et Universidad autónoma de zacatecas « Francisco Garcia Salinas ». (2015). Estudio para mejorar la competitividad de los productores de cacao en localidad de alta marginación en el estado de Tabasco. Repéré à https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/347545/Estudio_de_Cacao__Detallado_.pdf
- Santacruz de León, E. E. et Pérez Villalba, E. (2009). Atraso económico, migración y remesas: el caso del Soconusco, Chiapas, México. *Convergencia*, 16(50), 57–77.
- Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural. (2018). Desarrolla la SAGARPA variedades de alto rendimiento de cacao para incrementar su producción. *gob.mx*. Repéré à <http://www.gob.mx/agricultura/prensa/desarrolla-la-sagarpa-variedades-de-alto-rendimiento-de-cacao-para-incrementar-su-produccion>
- Serrat, O. (2017). The sustainable livelihoods approach. Dans *Knowledge solutions* (p. 21–26). Springer.
- Shah, H., Peck, J. et Murphy, M. (2005). Well being and the environment: Achieving ‘One Planet Living’ and maintaining quality of life. *Report from the New Economics Foundation, London*.
- Shannon, C. E. et Weaver, W. (1949). *The mathematical theory of communication* (Urbana, IL. University of illinois Press IL.
- Sheil, D., Ducey, M. J., Sidiyasa, K. et Samsedin, I. (2003). A new type of sample unit for the efficient assessment of diverse tree communities in complex forest landscapes. *Journal of Tropical Forest Science*, 117–135.
- Soepadmo, E. (1993). Tropical rain forests as carbon sinks. *Chemosphere*, 27(6), 1025-1039.
- Solesbury, W. (2003). *Sustainable livelihoods: A case study of the evolution of DFID policy*. Overseas Development Institute London.
- Somarriba, E., Cerda, R., Orozco, L., Cifuentes, M., Dávila, H., Espin, T., ... Poveda, V. (2013). Carbon stocks and cocoa yields in agroforestry systems of Central America. *Agriculture, ecosystems & environment*, 173, 46-57.
- Stephens, P. A., Pettorelli, N., Barlow, J., Whittingham, M. J. et Cadotte, M. W. (2015). Management by proxy? The use of indices in applied ecology. *Journal of Applied Ecology*, 52(1), 1-6.
- Sterling, E., Ticktin, T., Morgan, T. K. K., Cullman, G., Alvira, D., Andrade, P., ... Caillon, S. (2017). Culturally grounded indicators of resilience in social-ecological systems. *Environment and Society*, 8(1), 63-95.
- Summers, J. K., Smith, L. M., Case, J. L. et Linthurst, R. A. (2012). A review of the elements of human well-being with an emphasis on the contribution of ecosystem services. *Ambio*, 41(4), 327–340.
- Tanaka, A. et Yamaguchi, J. (1972). Dry matter production, yield components and grain yield of the maize plant. *Journal of the Faculty of Agriculture, Hokkaido University= 北海道大學農學部紀要*, 57(1), 71-132.

- Tarrío García, M. et Concheiro Bórquez, L. (2006). Chiapas: los cambios en la tenencia de la tierra. *Argumentos (México, D.F.)*, 19(51), 31-71.
- Taylor, P. D., Fahrig, L., Henein, K. et Merriam, G. (1993). Connectivity is a vital element of landscape structure. *Oikos*, 571-573.
- Tixier, P., Peyrard, N., Aubertot, J.-N., Gaba, S., Radoszycki, J., Caron-Lormier, G., ... Sabbadin, R. (2013). Modelling interaction networks for enhanced ecosystem services in agroecosystems. Dans *Advances in Ecological Research* (vol. 49, p. 437-480). Elsevier.
- Torres Rojo, J. M. (s. d.). *Estudio de tendencias y perspectivas del sector forestal en América Latina al año 2020 - Informe Nacional México*. FAO. Repéré à <http://www.fao.org/3/j2215s/j2215s00.htm#TopOfPage>
- Turner, K. G., Anderson, S., Gonzales-Chang, M., Costanza, R., Courville, S., Dalgaard, T., ... Porfirio, L. (2016). A review of methods, data, and models to assess changes in the value of ecosystem services from land degradation and restoration. *Ecological Modelling*, 319, 190-207.
- United Nations Framework Convention on Climate Change. (s. d.). Measurements for Estimation of Carbon Stocks in Afforestation and Reforestation Project Activities under the Clean Development Mechanism. Repéré à https://unfccc.int/resource/docs/publications/cdm_afforestation_field-manual_web.pdf
- Urruty, N., Tailliez-Lefebvre, D. et Huyghe, C. (2016). Stability, robustness, vulnerability and resilience of agricultural systems. A review. *Agronomy for sustainable development*, 36(1), 15.
- Vaast, P. et Somarriba, E. (2014). Trade-offs between crop intensification and ecosystem services: the role of agroforestry in cocoa cultivation. *Agroforestry Systems*, 88(6), 947-956.
- Van der Kooij, S. (2013). *Market study of fine flavour cocoa*. Royal Tropical Institute. Repéré à <http://www.cocoaconnect.org/sites/default/files/publication/Market%20study%20of%20fine%20flavour%20cocoa%20-%20revised%20version.pdf>
- Van der Werf, H. M. et Petit, J. (2002). Evaluation of the environmental impact of agriculture at the farm level: a comparison and analysis of 12 indicator-based methods. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 93(1-3), 131-145.
- Vanegtern, B., Rogers, M. et Nelson, S. (2015). Black pod rot of cacao caused by *Phytophthora palmivora*. *Plant Disease*, 108, 1-5.
- Villagómez Ornelas, P. (s. d.). *Rural poverty in Mexico: prevalence and challenges*. CONEVAL. Repéré à <https://www.un.org/development/desa/dspd/wp-content/uploads/sites/22/2019/03/RURAL-POVERTY-IN-MEXICO.-CONEVAL.-Expert-Meeting.-15022019.pdf>
- Walkley, A. et Black, C. A. (2003). Centre d'expertise en analyse environnementale du Québec et Ministère de l'agriculture, des pêcheries et de l'alimentation du Québec. *Détermination de la matière organique par dosage du carbone organique dans les sols agricoles: méthode Walkley-Black modifiée*, MA.
- Wei, T. et Simko, V. (2017). R package « corrplot »: Visualization of a Correlation Matrix. (version Version 0.84). Repéré à <https://github.com/taiyun/corrplot>
- Wezel, A., Bellon, S., Doré, T., Francis, C., Vallod, D. et David, C. (2009). Agroecology as a science, a movement and a practice. A review. *Agronomy for sustainable development*, 29(4), 503-515.
- WHO (World Health Organization). (s. d.). Climate change and human health - risks and responses. WHO. Repéré à <https://www.who.int/globalchange/summary/en/index12.html>
- World Bank. (2013). *Building Resilience: Integrating Climate and Disaster Risk into Development*. Washington D.C. : World Bank. Repéré à <https://openknowledge.worldbank.org/bitstream/handle/10986/16639/826480WP0v10Bu0130Box37986200UO090.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- World Bank. (2017). GINI index - Mexico | Data. Repéré à <https://data.worldbank.org/indicator/SI.POV.GINI?locations=MX>

- World Bank. (2018). Agriculture, forestry, and fishing, value added (% of GDP) - Mexico | Data. Repéré à <https://data.worldbank.org/indicator/NV.AGR.TOTL.ZS?locations=MX>
- Yee, J. L. et Niemeier, D. (1996). Advantages and disadvantages: Longitudinal vs. repeated cross-section surveys.
- Zarrillo, S., Gaikwad, N., Lanaud, C., Powis, T., Viot, C., Lesur, I., ... Valdez, F. (2018). The use and domestication of *Theobroma cacao* during the mid-Holocene in the upper Amazon. *Nature Ecology & Evolution*, 2(12), 1879. doi:10.1038/s41559-018-0697-x
- Zellner, A. (1962). An efficient method of estimating seemingly unrelated regressions and tests for aggregation bias. *Journal of the American statistical Association*, 57(298), 348–368.
- Zuur, A. F. et Ieno, E. N. (2016). A protocol for conducting and presenting results of regression-type analyses. *Methods in Ecology and Evolution*, 7(6), 636–645.
- Zuur, A. F., Ieno, E. N. et Elphick, C. S. (2010). A protocol for data exploration to avoid common statistical problems. *Methods in ecology and evolution*, 1(1), 3–14.

ANNEXES

Annexe 1 : Liste des espèces rencontrées sur les parcelles et occurrences

Nom commun (en espagnol)	Nom scientifique	Famille	Nombre d'occurrences
Cacao	<i>Theobroma cacao</i>	Malvaceae	34
Aguacate	<i>Persea americana</i> Mill	Lauraceae	7
Amate	<i>Ficus insipida</i>	Moraceae	2
Amatillo	<i>Sapium macrocarpum</i>	Euphorviaceae	4
Buhon	<i>Cordia gerascanthus</i>	Boraginaceae	6
Cacao volador	<i>Virola guatemalensis</i> Lundell	Myristicaceae	1
Café	<i>Coffea canephora</i>	Rubiaceae	4
Canaco	<i>Alchornea latifolia</i>	Euphorbiaceae	2
Carnero	<i>Cocoloba escuintlensis</i>	Polygonaceae	1
Caspirol	<i>Miconia argentea</i>	Melastomataceae	3
Canaco	<i>Alchornea latifolia</i>	Euphorbiaceae	2
Caulote	<i>Guazuma ulmifolia</i>	Malvaceae	3
Cedro	<i>Cedrela odorata</i>	Meliaceae	10
Chalum	<i>Inga vera ssp. Spuria</i>	Fabaceae	6
Chaman	<i>Samanea saman</i>	Fabaceae	1
Chaperna	<i>Longocarpus rugosus</i>	Leguminosae	15
Chapon	<i>Stemmadenia donnell-smiithi</i>	Apocynaceae	1
Chiche	<i>Aspidosperma desmanthum</i>	Apocynaceae	6
Chonte	<i>Sterculia apetala</i>	Malvaceae	1
Lechon			
Espino	<i>Piptadenia flava sp.</i>	Fabeaceae	1
Guarumo	<i>Cecropia obtusifolia</i> Bertol	Moraceae	2
Guayavo	<i>Terminalia oblonga</i>	Combretaceae	4
Hormiguillo, Marimbo	<i>Platymiscium dimorphandrum</i> Donn. Sm	Leguminosae	3
Hule	<i>Castilla elastica</i> Cerv.	Moraceae	1
Jobo	<i>Spondias purpurea</i> L.	Anacardiaceae	1
Laurel	<i>Cordia alliodora</i>	Boraginaceae	3
Limon	<i>Citrus x limon</i>	Rutáceas	4
Lombricero	<i>Andira inermis</i>	Leguminosae	1
Madrón	<i>Calycophyllum candidissimum</i> (Vahl) DC.	Rubiaceae	2
Mamey	<i>Pouteria sapota</i>	Sapotaceae	13
Mandarina	<i>Citrus x aurantium</i>	Rutaceae	2
Mango	<i>Mangifera indica</i>	Anarcadiaceae	12
Mano de leon	<i>Dendropanax arboreus</i>	Araliaceae	2
Manzanillo	<i>Alseis yucatanensis</i>	Rubiaceae	1
Mulato	<i>Triplaris melaenodendron</i>	Polygonacea	1

Nom commun (en espagnol)	Nom scientifique	Famille	Nombre d'occurrences
Naranja	<i>Citrus × sinensis</i>	Rutáceas	1
Palito San Carlos	<i>Celastus sp.</i>	Celastasiae	1
Palma de aceite	<i>Elaeis guineensis</i>	Arecaceae	1
Palmera	<i>Acrocomia aculeata</i>	Areceae	2
Palo de Agua	<i>Dendropanax arboreus</i>	Araliaceae	2
Palojiote	<i>Bursera simaruba</i>	Burseraceae	1
Pan de palo	<i>Artocarpus altilis</i>	Moraceae	1
Platano	<i>Musa × paradisiaca</i>	Musaceae	18
Plumillo	<i>Inga punctata</i>	Leguminosae	3
Pumpusuche, pomposuchil	<i>Cochlospermum vitifolium</i>	Bixaceae	1
Primavera	<i>Roseodendron donnell-smithii</i>	Bignoniaceae	11
Rabolagarto	<i>Zanthoxylum caribaeum</i>	Rutaceae	2
Rambutan	<i>Nephelium lappaceum</i>	Sapindaceae	2
Roble	<i>Tabebuia rosea</i>	Bignoniaceae	10
Zapote de agua	<i>Pachira Aquatica</i>		1

Annexe 2 : Protocole pour l'identification des espèces et de détermination de la biomasse des parcelles agroforestières de cacao

Ce document présente le protocole de terrain de caractérisation de la biomasse des arbres, pour ensuite déterminer la capacité de stockage de carbone des parcelles agroforestières de cacao, dans le Soconusco (Mexique). Le cycle du carbone est ici utilisé pour caractériser les variables lentes de l'écosystème, c'est-à-dire en tant qu'indicateur du fonctionnement de sa structure globale (Biggs et al., 2012).

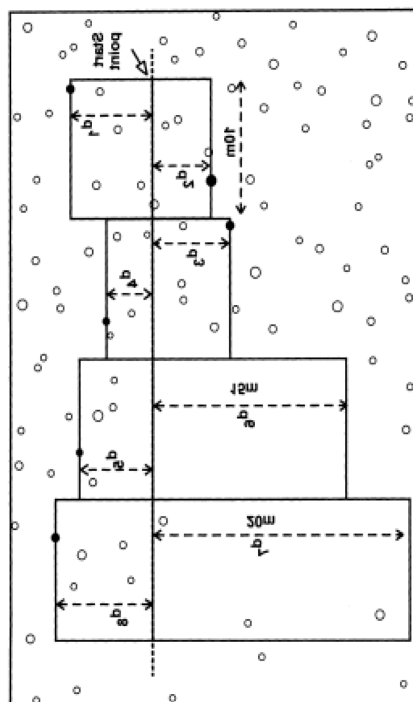
Dans un écosystème terrestre, on considère qu'il existe cinq réservoirs de carbone : hors-sol, souterrain (racines), provenant du bois mort, de la litière (c'est-à-dire la biomasse morte ou en décomposition) et du carbone organique du sol (United Nations Framework Convention on Climate Change, s. d.). Dans les forêts tropicales, le stockage du carbone se fait 58 % dans la végétation hors sol et 41 % dans le sol (Soepadmo, 1993). Ce seront donc les deux pools qui seront mesurés. Les parties 1 et 2 présentent la façon dont sera mesuré puis calculé le carbone dans la végétation, les parties 3 et 4 présentent la méthodologie pour le carbone du sol.

1. Échantillonnage des arbres

L'échantillonnage se réalisera selon une méthode modifiée des transects à aire variable (ou VAT pour « *variable-area transect method* »). Ceci permettra de déterminer la densité végétale et, ainsi, estimer la biomasse des parcelles. Cette méthode a été développée par (Parker, 1979) et modifiée par Sheil, Ducey, Sidiyasa et Samsodin (2003). Les avantages de cette méthode ont été mis en lumière par rapport à d'autres méthodes (Nath et al., 2010) : elle est plus précise, efficace et plus économique en temps. Elle a été utilisée dans les systèmes agroforestiers du Soconusco avec succès (Périchon et Quique, 2013).

Pour avoir un nombre équivalent d'arbres dans chaque échantillon, favoriser une aire d'échantillonnage compacte et l'implantation du protocole, on considérera la proximité des arbres d'ombre rencontrés dans chaque cellule, c'est-à-dire les arbres apportant de l'ombre aux cacaotiers. Cette méthode est schématisée à la figure ci-contre. Elle est appliquée aux arbres de plus de 10 cm. Dans chacune d'entre elles de largeur- L et de longueur 10 mètres, le protocole suivant s'applique. 1) Si on parcourt une distance horizontale L_{\min} (15 m) sans rencontrer d'arbre d'ombre, on poursuit jusqu'à L_{\max} (20 m). Si on ne rencontre pas d'arbre, la cellule est considérée comme vide (sur la figure ci-contre, cellule **d6**). 2) Si on trouve au moins un arbre avant L_{\min} et que l'on comptabilise une quantité maximale d'arbres r_{\max} (5 arbres) avant d'atteindre une distance horizontale L_{\min} (15 m), on considère que la cellule contient r_{\max} arbres (sur la figure ci-contre, cellule **d1, d2, d3, d4, d5**). Sa largeur est comprise comme la distance de la ligne centrale à l'arbre r_{\max} (centre du tronc). 3) Si on atteint L_{\min} avant que r_{\max} arbres soient comptabilisés, la cellule est enregistrée comme une cellule contenant le nombre d'arbres comptés et sa largeur est L_{\min} (sur la figure ci-contre, cellule **d7**).

Pour chacun des arbres d'ombre, on relèvera : l'espèce (nom local et scientifique) ; les nombres de tiges (pour les arbres non fruitiers excepté les manguiers, si l'arbre est fourchu en



dessous de 1,30 m de hauteur) ; le diamètre (diamètre à hauteur de poitrine [DHP], c'est à dire 1,30 m, pour les arbres non fruitiers excepté les manguiers ou le diamètre basal pour tous les autres arbres fruitiers) ; la hauteur totale pour les cacaotiers et la hauteur du tronc pour les palmiers. On mesurera dans le transect les cacaotiers (hauteur et diamètre à 30 centimètres du sol).

2. Calcul de la capacité de stockage du carbone de la biomasse hors-sol

Les informations recueillies dans les parcelles d'échantillonnage permettront d'appliquer les équations allométriques présentées dans le Tableau A2-1, pour déterminer la capacité de stockage de carbone hors sol. Ces équations allométriques sont issues de la littérature. L'ensemble des études considérées ont été menées dans un climat tropical humide.

Tableau A2-1 : Équations allométriques selon les espèces présentes sur la parcelle. B = biomasse aérienne (kg) ; H = hauteur (m) ; H' = la hauteur du tronc aux première branches (m) ; D = diamètre à hauteur de poitrine (cm) ; D' = diamètre à 30 centimètres (cm) ; BA = aire basale (cm²). L'aire basale est obtenue telle que $BA = \pi * \frac{D'^2}{4}$. Log correspond au logarithme décimal.

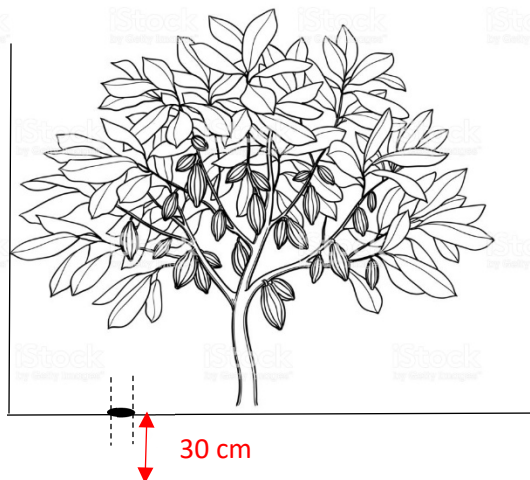
Espèce/famille	Biomasse aérienne	Référence	Lieu d'étude
<i>Theobroma cacao</i>	$\text{LogB} = -1\,684 + 2\,158 * \text{LogD}' + 0,892 * \text{LogH}$	CATIE (non publié)	Costa-Rica, Panama, Nicaragua
Palmas	$B = 4,5 + 7,7 * H$	Frangi et Lugo, 1985	Porto Rico,
<i>Musacea</i>	$B = 1,5 * H$	Tanaka et Yamaguchi, 1972	Costa-Rica, Panama, Nicaragua
<i>Coffea arabica</i>	$B = 0,2811D^{2.0635}$	Hairiah, Sitompul, van Noordwijk et Palm, 2001	Brésil et Pérou
<i>Mangifera indica</i>	$B = -2,43 + 0,154 D + 0,193 H * 0,3048$ (moins de 25 cm de diamètre) $B = -26,6 + 0,614 D + 1,39 H * 0,3048$ (entre 25 et 65 cm de diamètre) $B = -115 + 1,59 D + 3,38 H * 0,3048$ plus de 65 cm de diamètre)	Chavan et Rasal, 2012	Inde
<i>Inga punctata</i>	$\text{LogB} = -0,559 + 2,067 * \text{Log D}$	Segura, M., Kanninen, M., & Suárez, D. (2006).	Nicaragua
<i>Citrus sp.</i>	$B = -6,64 + 0,279 * BA + 0,000514 * BA^2$	Soto-Pinto, L., Anzueto, M., Mendoza, J., Ferrer, G. J., & de Jong, B. (2010)	Mexico

Tableau A2-1 : Équations allométriques selon les espèces présentes sur la parcelle (suite)

Espèce/famille	Biomasse aérienne	Référence	Lieu d'étude
<i>Cordia alliodora</i>	$\text{Log}B = -0,755 + 2,072 * \text{Log} D$	Segura, M., Kanninen, M., & Suárez, D. (2006).	Nicaragua
<i>Cedrela odorata</i>	$B = 0,1265 (D^2H)^{0,2787} + 0,2002D^2H^{0,5615} + 0,0120(D^2H)^{0,8265} + 0,0727(D^2H)^{0,2089}$	Cole, T. G., & Ewel, J. J. (2006)	Costa Rica
Autres arbres fruitiers (Citrus spp., <i>Nephelium lappaceum</i>)	$\text{Log}B = -1,11 + 2,64 * \text{Log}D$	CATIE (non publié)	Costa-Rica, Panama, Nicaragua
Autres arbres	$B = 21,3 - 6,95 * D + 0,74 * D^2$	Brown, Lugo et Iverson, 1992	Malaysia

Dans le cas d'**arbres morts** demeurant debout, il est nécessaire de prendre en compte un facteur de réduction de la biomasse (IPPC National Greenhouse Gas Inventories Programme, 2003). Ainsi, pour les arbres ayant perdu les feuilles et les branches secondaires, la biomasse de l'arbre sera multipliée par un coefficient de réduction de 0,975. Pour les arbres ayant perdu feuilles, branches secondaires et principales, la biomasse de l'arbre sera multipliée par un coefficient de réduction de 0,80.

3. Échantillonnage du sol



Les échantillons de sols servent à déterminer le carbone accumulé dans la biomasse. Le protocole est adapté du guide du Global Terrestrial Observing System programme, qui a pour but de faciliter la diffusion et l'accès aux données sur le carbone (Law et al., 2008). Les échantillons sont réalisés à l'aide d'un carottier manuel et présentent une profondeur de 30 cm, tel que présenté sur la figure 2.

Un à deux échantillons sont effectués par parcelle. Si la parcelle fait plus de 2 hectares ou si elle présente une topographie irrégulière (plane puis fortes pentes), deux échantillons seront effectués. Dans les autres cas, un seul échantillon est pris.

Chaque échantillon est composé de 10 sous-échantillons. Ceux-ci sont choisis au hasard, en évitant les arbres

malades et morts, et sont tous effectués du même côté de l'arbre. Ils sont situés sous la couronne de l'arbre. Lors de la prise d'échantillon, les détritux de bois et de feuille de la litière de plus de 0,6 cm de diamètre sont retirés.

4. Traitement des échantillons

Les échantillons sont séchés, puis tamisés avec un tamis 100, de mailles 0,2 mm. La détermination du carbone organique total du sol se fait par oxydation, selon la méthode adaptée de Walkley-Black (Walkley et Black, 2003). Pour chacun des échantillons, utiliser 1 gramme de sol, dans une fiole conique. Ajouter 10 ml de solution de dichromate de potassium (1N $K_2Cr_2O_7$) et 20 ml d'acide sulfurique (H_2SO_4). Mélanger la flaque et laisser reposer 30 minutes pour laisser la réaction s'achever. Ajouter 200 ml d'eau distillée pour diluer la suspension. Ajouter 10 ml d'acide orthophosphorique ou 0,5 g de sodium fluoride (NaF) et 1 ml de diphénylamine ($(C_6H_5)_2NH$). Une couleur violet foncé apparaît. Titre le mélange avec 0,5 N de sulfate d'ammonium ferreux ($FeH_8N_2O_8S_2$) jusqu'à ce que la couleur passe de violet, à bleu, à vert clair. Noter le volume de sulfate d'ammonium ferreux ($FeH_8N_2O_8S_2$) utilisé pour le titrage. Effectuer un titrage témoin (sans sol) de la même façon.

Calculs :

$$\% \text{ de carbone organique dans le sol} = (X - Y) \times 0,003 \times 100 \div 2 \times W = Z$$

$$\% \text{ de carbone organique dans le sol} = Z \times 1,3 = R$$

Avec X = le titrage témoin (ml), Y = l'analyse des échantillons (ml) et W = le poids du sol utilisé (g)

On assume que la matière organique contient 58 % de carbone, donc la matière organique sera calculée telle que :

$$\% \text{ de carbone organique dans le sol} = R \times 1,724$$

Annexe 3 : Questionnaire d'entretiens (versions espagnole et française)

Resiliencia ecologica y económica del cacao Mexico 2019

Informaciones iniciales

Fecha

Cliquez ou appuyez ici pour entrer une date.

Ejido

Cliquez ou appuyez ici pour entrer du texte.

Municipalidad

☐ Huehuetán

☐ Tapachula

☐ Escuintla

☐ Villa Comaltitlán

☐ Tuxtla Chico

☐ Tuzantán

☐ Otro : Cliquez ou appuyez ici pour entrer du texte.

Localización

☐ Llanura costera

☐ Sierra

Número de hogar

Cliquez ou appuyez ici pour entrer du texte.

Sección 1: Información personal

101. Nombre

Cliquez ou appuyez ici pour entrer du texte.

102. Género

☐ Hombre

☐ Mujer

103. Grupo étnico o grupo etnológico

☐ Maya-Mam

☐ Mestizo

☐ Otro : Cliquez ou appuyez ici pour entrer du texte.

☐ Non déclaré

104. Sabe leer y escribir?

☐ Sí

☐ No

☐ No declarado

105. Nivel de educación

☐ Primaria

☐ Secundaria

☐ Preparatoria

☐ Universidad

☐ Otro : Cliquez ou appuyez ici pour entrer du texte.

☐ Ninguno

☐ No declarado

106. Año de entrada en la cooperativa

Cliquez ou appuyez ici pour entrer une date.

107. ¿Cuál estuvo su actividad profesional antes?

☐ Agricultura

☐ Otro (especificar)

Cliquez ou appuyez ici pour entrer du texte.

Sección 2: Composición del hogar

201. ¿Cuántas personas viven con usted?

Cliquez ou appuyez ici pour entrer du texte.

202. ¿ Tiene hijos que viven con usted ?

☐ Sí

☐ No ► **ir a la pregunta 206**

203. Relación familiar	204. Cual es su edad?	205. Van a la escuela?
<input type="checkbox"/> Hija	Cliquez ou appuyez ici pour entrer du texte.	<input type="checkbox"/> Sí
<input type="checkbox"/> Hijo		<input type="checkbox"/> No
<input type="checkbox"/> Hija	Cliquez ou appuyez ici pour entrer du texte.	<input type="checkbox"/> Sí
<input type="checkbox"/> Hijo		<input type="checkbox"/> No
<input type="checkbox"/> Hija	Cliquez ou appuyez ici pour entrer du texte.	<input type="checkbox"/> Sí
<input type="checkbox"/> Hijo		<input type="checkbox"/> No
<input type="checkbox"/> Hija	Cliquez ou appuyez ici pour entrer du texte.	<input type="checkbox"/> Sí
<input type="checkbox"/> Hijo		<input type="checkbox"/> No
<input type="checkbox"/> Hija	Cliquez ou appuyez ici pour entrer du texte.	<input type="checkbox"/> Sí
<input type="checkbox"/> Hijo		<input type="checkbox"/> No
<input type="checkbox"/> Hija	Cliquez ou appuyez ici pour entrer du texte.	<input type="checkbox"/> Sí
<input type="checkbox"/> Hijo		<input type="checkbox"/> No

206. ¿Hay otras personas que viven con usted?

☐ Sí

☐ No ► **fin de la sección**

207. Relación familiar	208. Genero	209. Cual es su edad?	210. Nivel de educación
<input type="checkbox"/> Esposo/esposa	<input type="checkbox"/> Hombre	Cliquez ou appuyez ici pour entrer du texte.	<input type="checkbox"/> Primaria
<input type="checkbox"/> Nieto/nieta	<input type="checkbox"/> Mujer		<input type="checkbox"/> Secundaria
<input type="checkbox"/> Padre/madre			<input type="checkbox"/> Superior
<input type="checkbox"/> Hermano/hermana			<input type="checkbox"/> Ninguno
<input type="checkbox"/> Sobrino/sobrino			
<input type="checkbox"/> Cuñado/cuñada			
<input type="checkbox"/> Yerno/nuera			
<input type="checkbox"/> Otra persona parienta			

207. Relación familiar	208. Genero	209. Cual es su edad?	210. Nivel de educación
<input type="checkbox"/> Otra persona no parienta			

Sección 3 : Actividad agricola

301. ¿Cuántas parcelas tienen?

☐ 1

☐ 2

☐ 3 ó más

302. ¿Cuál es la talla de su(s) parcelas?

Cliquez ou appuyez ici pour entrer du texte.

303. ¿Cuántos cacaotales tiene?

Cliquez ou appuyez ici pour entrer du texte.

304. ¿Cuántos años sus tienen sus cacaotales?

☐ 0-3 años

☐ 3-5 años

☐ 5-10 años

☐ 10-20 años

☐ 20-30 años

☐ Más de 30 años

305. ¿Cuántas variedades de cacao cultivan?

☐ 1

☐ 2

☐ 3 y más

306. Entre estas, está cultivado:

☐ Cacao criollo (traditional)

☐ Cacao forastero (campesino)

☐ Cacao trinitario

☐ Otro cacao híbrido

☐ Pataxte (cacao blanco, Theobroma bicolor)

☐ No sabe

307. ¿Cuántas cosechas hay por año?

☐ 1

☐ 2

☐ 3 y más

308. ¿Cuántas personas participan al cultivo de manera permanente (durante todo el año)?

Cliquez ou appuyez ici pour entrer du texte.

309. ¿Cuántas personas máximo participan al cultivo (durante el período cuando la necesidad de mano-obra es fuerte)?

Cliquez ou appuyez ici pour entrer du texte.

310. ¿Está empleando a gente?

☐ Sí

☐ No ► ir a la pregunta 314

311. ¿Cuántas personas?

Cliquez ou appuyez ici pour entrer du texte.

312. ¿Durante cuántas semanas del año?

Cliquez ou appuyez ici pour entrer du texte.

313. ¿Cuál es el salario por semana?

Cliquez ou appuyez ici pour entrer du texte.

314. ¿Están utilizando un parte de su cosecha de cacao para su consumo personal?

☐ Sí

☐ No

315. ¿Qué parte está vendida en medio a CASFA?

☐ La totalidad ► **ir a la pregunta 318**

☐ Los tres cuatros

☐ La mitad

☐ El cuarto

☐ Nada

316. Por qué?

☐ Variedad no conforme a las exigencias de CASFA

☐ Precio de venta más atractivo en otro lugar

☐ Otro lugar de venta más cercano y accesible

☐ Capacidad de repuesta de CASFA demasiado lenta

☐ Otro: Cliquez ou appuyez ici pour entrer du texte.

317. A quién lo vende?

☐ Venta directa (mercados,...)

☐ Otra cooperativa: Cliquez ou appuyez ici pour entrer du texte.

☐ Otro: Cliquez ou appuyez ici pour entrer du texte.

318. ¿Cuáles son las especies que tienen en su parcela?

☐ Pataste (*Sechium edule*)

☐ Mandarina (*Citrus reticulata*)

☐ Limón (*Citrus x limon*)

☐ Limón persa (*Citrus latifolia et Citrus aurantiifolia*)

☐ Naranja (*Citrus sinensis*)

☐ Bananos (*Musa*)

☐ Plátanos (*Musa x paradisiaca*)

☐ Papayas (*Carica papaya*)

☐ Pacaya (*Chamaedorea tepejilote*)

☐ Chile (*Capsicum annuum*)

☐ Chaya (*Cnidoscolus aconitifolius*)

☐ Anona (*Annona cherimola*)

☐ Papause (*Annona macrophyllata*)

☐ Aguacate (*Persea americana*)

☐ Zapote (*Pachira aquatica*)

☐ Mango (*Mangifera indica*)

☐ Piña (*Ananas comosus*)

☐ Goyava (*Psidium guajava*)

- ☐Carambola (*Averrhoa carambola*)
- ☐Pomarrosa (*Syzygium jambos*)
- ☐Sapodilla (*Manilkara zapota*)
- ☐ Otro: Cliquez ou appuyez ici pour entrer du texte.

319. ¿Consumen algunas de estas especies?

- ☐Sí
- ☐No

320. ¿Venden algunas de estas especies?

- ☐Sí
- ☐No

321. ¿Ofrecen algunas de estas especies?

- ☐Sí
- ☐No

322. ¿Cuáles son las que no utiliza?

Cliquez ou appuyez ici pour entrer du texte.

☐Ninguna ► **ir a la pregunta 324**

323. ¿Por qué está cultivado estas especies en su parcela?

- ☐ Sombra
- ☐ Enriquecimiento del suelo en nutrimentos
- ☐ Refugio/comida para los depredadores de plagas
- ☐ Mantenimiento de la calidad del agua
- ☐ Caracter sagrado/esteticismo
- ☐ Otro : Cliquez ou appuyez ici pour entrer du texte.

► **Si respuesta positiva a la pregunta 316**

324. ¿Cuál parte de frutas y verduras utilizan para su consumo personal?

- ☐La totalidad
- ☐Los tres cuatros
- ☐La mitad
- ☐El cuarto
- ☐Nada

	325. ¿Cuántas cosechas de estas especies hacen por año?	326. Cuánto ganan con la venta de... por cosecha (en pesos) ?
Cacao (<i>Theobroma cacao</i>)		
Patate (<i>Sechium edule</i>)		
Mandarina (<i>Citrus reticulata</i>)		
Lemón (<i>Citrus x limon</i>)		
Citron vert (<i>Citrus latifolia</i> et <i>Citrus aurantiifolia</i>)		
Naranja (<i>Citrus sinensis</i>)		
Bananos (<i>Musa</i>)		
Plátanos (<i>Musa x paradisiaca</i>)		
Papayas (<i>Carica papaya</i>)		
Pacayas (<i>Chamaedorea tepejilote</i>)		
Chile (<i>Capsicum annum</i>)		

	325. ¿Cuántas cosechas de estas especies hacen por año?	326. Cuánto ganan con la venta de... por cosecha (en pesos) ?
Chaya (<i>Cnidoscolus aconitifolius</i>)		
Anona (<i>Annona cherimola</i>)		
Papaya (<i>Annona macrophyllata</i>)		
Aguacate (<i>Persea americana</i>)		
Zapote (<i>Pachira aquatica</i>)		
Mango (<i>Mangifera indica</i>)		
Piña (<i>Ananas comosus</i>)		
Goyava (<i>Psidium guajava</i>)		
Carambola (<i>Averrhoa carambola</i>)		
Pomarroja (<i>Syzygium jambos</i>)		
Sapodilla (<i>Manilkara zapota</i>)		
Otro: Cliquez ou appuyez ici pour entrer du texte.		

327. ¿Tiene ingresos de la venta de leña?

☐ Sí

☐ No

328. Utilizan leña?

☐ Sí

☐ No

► Si respuesta positiva a la pregunta 327 y/o 329

329. ¿Cuáles son las especies que explotan?

☐ Cèdre (*Cedrella odorata*)

☐ Roble (*Tabebuia rosea*)

☐ Primavera (*Tabebuia donnel-smithii*)

☐ Sapotillier (*Manilkara zapota*)

☐ Otro : Cliquez ou appuyez ici pour entrer du texte.

► Si respuesta positiva a la pregunta 328

330. ¿Cuántos gana con la venta de leña por año?

Cliquez ou appuyez ici pour entrer du texte.

331. ¿En su parcela, utilizan plantas medicinales?

☐ Sí

☐ No ► ir a la pregunta 335

332. ¿Cuáles son las especies que utilizan?

☐ Murallas (*Murraya paniculata*)

☐ Hoja de cancer (*Tournefortia glabra* L.)

☐ Corrimientos (*Peperomia pellucida* (L.) Kunth)

☐ Mala mujer (*Cnidoscolus multilobus*)

☐ Arnica (*Arnica montana*)

☐ Cundeamor (*Momordica charantia*)

☐ Macus (*Nicotiana*)

☐Lavaplatos (*Solanum torvum* Swartz)

☐Otro: Cliquez ou appuyez ici pour entrer du texte.

	333. Por cosecha, cuánto tiempo (en día) necesita para:	334. Por cosecha, cuáles son los costos (en pesos) para:
Tratamientos (herbicidas, fertilizantes,...)	Cliquez ou appuyez ici pour entrer du texte.	Cliquez ou appuyez ici pour entrer du texte.
Cosecha	Cliquez ou appuyez ici pour entrer du texte.	Cliquez ou appuyez ici pour entrer du texte.
Limpieza de las mazorcas	Cliquez ou appuyez ici pour entrer du texte.	Cliquez ou appuyez ici pour entrer du texte.
Poda	Cliquez ou appuyez ici pour entrer du texte.	Cliquez ou appuyez ici pour entrer du texte.
Ensacamiento	Cliquez ou appuyez ici pour entrer du texte.	Cliquez ou appuyez ici pour entrer du texte.
Transporte	Cliquez ou appuyez ici pour entrer du texte.	Cliquez ou appuyez ici pour entrer du texte.
Secado	Cliquez ou appuyez ici pour entrer du texte.	Cliquez ou appuyez ici pour entrer du texte.
Fermentación	Cliquez ou appuyez ici pour entrer du texte.	Cliquez ou appuyez ici pour entrer du texte.
Crédito	Cliquez ou appuyez ici pour entrer du texte.	Cliquez ou appuyez ici pour entrer du texte.
Empleados	Cliquez ou appuyez ici pour entrer du texte.	Cliquez ou appuyez ici pour entrer du texte.
Autre : Cliquez ou appuyez ici pour entrer du texte.	Cliquez ou appuyez ici pour entrer du texte.	Cliquez ou appuyez ici pour entrer du texte.

335. ¿Trabaja en una otra actividad que la agricultura?

☐Sí

☐No ► **ir a la pregunta 340**

336. Es una actividad que practica:

☐Todo el año

☐Puntualmente (indicar la duración) : Cliquez ou appuyez ici pour entrer du texte.

337. Es una actividad que practica:

☐A tiempo completo

☐Entre 30 y 40 horas por semana

☐Entre 20 y 30 horas por semana

☐Entre 10 y 20 horas por semana

☐Menos de 10 horas por semana

338. ¿Cuál es esta actividad?

Cliquez ou appuyez ici pour entrer du texte.

339. ¿Cuál es su salario (en pesos) por semana ?

Cliquez ou appuyez ici pour entrer du texte.

340. ¿Entre las otras personas que viven con usted, trabajan en una otra actividad que la agricultura?

☐ Sí

☐ No ► **fin de la sección**

341. Quién practica esta actividad?	342. Es una actividad que practica:	343. Es una actividad que se hace:	344. ¿Cuál es esta actividad?	345. ¿Cuál es el salario (en pesos) por semana?
Cliquez ou appuyez ici pour entrer du texte.	<input type="checkbox"/> Todo el año <input type="checkbox"/> Puntualmente (indicar la duración) : Cliquez ou appuyez ici pour entrer du texte.	<input type="checkbox"/> A tiempo completo <input type="checkbox"/> Entre 30 y 40 horas por semana <input type="checkbox"/> Entre 20 y 30 horas por semana <input type="checkbox"/> Entre 10 y 20 horas por semana <input type="checkbox"/> Menos de 10 horas por semana	Cliquez ou appuyez ici pour entrer du texte.	Cliquez ou appuyez ici pour entrer du texte.

Sección4 : Ingreso

401. Durante los doce últimos meses, ¿cuál fue su ingreso?

Cliquez ou appuyez ici pour entrer du texte.

402. ¿Qué parte viene de la producción de cacao?

☐ La totalidad

☐ Los tres cuatros

☐ La mitad

☐ El cuarto

☐ Nada

► **ir directamente a la pregunta 405 si las personas están entradas en la cooperativa hace menos de cinco años**

403. ¿Fue su ingreso más o menos alto hace 5 años?

☐ Más

☐ Menos

☐ Igual

► **ir directamente a la pregunta 405 si las personas están entradas en la cooperativa hace menos de diez años**

404. ¿Fue su ingreso más o menos alto hace 10 años?

☐ Más

☐ Menos

☐ Igual

405. ¿Fue su ingreso más o menos alto antes de entrar en la cooperativa?
- ☐ Más
- ☐ Menos
- ☐ Igual
406. ¿Tiene un libro de cuenta o un mecanismo de seguimiento de sus ingresos?
- ☐ Sí
- ☐ No
407. ¿Tiene un acceso fácil al crédito?
- ☐ Sí
- ☐ No
408. ¿Ha tenido un crédito en lo largo de su vida?
- ☐ Sí
- ☐ No ► **fin de la sección**
409. Tiene que hacer créditos:
- ☐ De manera excepcional
- ☐ Todos los años
410. ¿Tiene un crédito en este momento?
- ☐ Sí
- ☐ No ► **fin de la sección**
411. ¿Cuál es su precio (en pesos) ?
- Cliquez ou appuyez ici pour entrer du texte.

Sección 5: pobreza subjetiva

501. ¿Cómo conocieron a CASFA ?
- ☐ Un amigo les ha hablado de CASFA
- ☐ Un encuentro con uno de los responsables del organismo
- ☐ Un anuncio del organismo (póster, radio,...)
- ☐ Otro: Cliquez ou appuyez ici pour entrer du texte.
502. Han decidido entrar en la cooperativa para:
- ☐ Las oportunidades de venta
- ☐ La formación
- ☐ El ayuda
- ☐ Las infraestructuras
- ☐ Los ingresos
- ☐ El prestigio
- ☐ Otro: Cliquez ou appuyez ici pour entrer du texte.
- ☐ No se aplica (fundador)
503. Desde su entrada en la cooperativa, tiene la impresión de que su situación financiera:
- ☐ Se mejoró
- ☐ Se deterioró
- ☐ Es inalterado
504. ¿Considera que su ingreso es estable?
- ☐ Sí

- ☐No
505. ¿Sus ingresos permiten de mantener sus necesidades y las de su familia?
- ☐Sí
- ☐No
506. ¿Falta dinero entre las cosechas?
- ☐Sí
- ☐No
507. ¿Tiene la impresión de que la presencia de CASFA hay impactos positivos en su hogar?
- ☐Sí
- ☐No ► **ir a la pregunta 509**
508. Aquellas?
- ☐Mejores ingresos
- ☐Visibilidad
- ☐Acceso a los servicios (créditos...)
- ☐Acceso a las infraestructuras (transporte...)
- ☐Otro: Cliquez ou appuyez ici pour entrer du texte.
509. ¿Tiene la impresión de que la presencia de CASFA hay impactos positivos en la comunidad?
- ☐Sí
- ☐No ► **ir a la pregunta 511**
510. Aquellos?
- ☐Mejores ingresos
- ☐Confianza
- ☐Acceso a los servicios (créditos...)
- ☐Acceso a las infraestructuras (transporte...)
- ☐Otro: Cliquez ou appuyez ici pour entrer du texte.
511. ¿Tiene la impresión de que la presencia de CASFA hay impactos negativos en su hogar?
- ☐Sí
- ☐No ► **ir a la pregunta 513**
512. Aquellos?
- ☐Reducción de ingreso
- ☐Colapso de producción
- ☐Colapso de ventas
- ☐Otro: Cliquez ou appuyez ici pour entrer du texte.
513. ¿Tiene la impresión de que la presencia de CASFA hay impactos negativos en su hogar?
- ☐Sí
- ☐No ► **ir a la pregunta 515**
514. Aquellos?
- ☐Baja de confianza
- ☐Otro: Cliquez ou appuyez ici pour entrer du texte.
515. ¿De manera general, piensa que la presencia de CASFA sea positiva para su familia?
- ☐Sí
- ☐No
516. ¿De manera general, piensa que la presencia de CASFA sea positiva para la comunidad?
- ☐Sí

☐No

517. ¿Tiene la impresión de que su salud se mejoró?

☐Sí

☐No

518. ¿En sus actividades agrícolas, cuáles son sus dificultades?

☐Presencia de enfermedades en la producción (monilia, mancha negra, escoba de bruja...)

☐Intemperies

☐Para vender sus productos

☐Para respetar a las exigencias de calidad de la cooperativa

☐Para respetar a las normas orgánicas de la cooperativa

☐Para respetar a las exigencias de diversidad de la cooperativa

☐Falta de mano de obra

☐Pérdidas durante los procesos de secado y fermentación

☐De comunicación con CASFA

☐Alejamiento con CASFA

☐Falta de infraestructuras

☐Precio de compra del cacao demasiado bajo

☐Otro: Cliquez ou appuyez ici pour entrer du texte.

☐Ninguno

519. ¿Piensa que algunos de los elementos siguientes podrían mejorar su productividad?

☐Fertilizantes, herbicidos, pesticidos respetando las normas de CASFA

☐Tratamiento contra las enfermedades (monilia...)

☐Acceso a más formaciones

☐Acceso a más manos de obras

☐Comunación de macinas/herramientas (o más)

☐Tener una mejor estrategia de renovación de las plántulas

☐Nuevas especies más productivas

☐Créditos

☐Otros: Cliquez ou appuyez ici pour entrer du texte.

☐Ninguno

**Questionnaires d'entretiens : résilience écologique et économique du cacao
Mexique, Soconusco 2019**

Informations initiales

Date

Cliquez ou appuyez ici pour entrer une date.

Ejido

Cliquez ou appuyez ici pour entrer du texte.

Municipe

☐ Huehuetán

☐ Tapachula

☐ Escuintla

☐ Villa Comaltitlán

☐ Tuxtla Chico

☐ Tuzantán

☐ Autre : Cliquez ou appuyez ici pour entrer du texte.

Localisation

☐ Plaine côtière

☐ Montagne

Numéro de ménage

Cliquez ou appuyez ici pour entrer du texte.

Section 1 : informations personnelles

101. Noms

Cliquez ou appuyez ici pour entrer du texte.

102. Sexe

☐ Homme

☐ Femme

103. Groupe ethnique

☐ Maya-Mam

☐ Métis

☐ Autre : Cliquez ou appuyez ici pour entrer du texte.

☐ Non déclaré

104. Alphabétisme : « Savez-vous lire et écrire ? »

☐ Oui

☐ Non

☐ Non déclaré

105. Éducation : « Quel est votre niveau d'éducation ? »

☐ Primaire

☐ Secondaire

☐ Pré-universitaire

☐ Supérieur

☐ Autre : Cliquez ou appuyez ici pour entrer du texte.

☐ Aucun

☐ Non déclaré

106. Année d'entrée dans la coopérative

Cliquez ou appuyez ici pour entrer une date.

107. « Quelle était votre activité professionnelle avant ? »

☐Agriculteur

☐Autre (spécifier)

Cliquez ou appuyez ici pour entrer du texte.

Section 2 : composition du ménage

201. Combien de personnes vivent avec vous ?

Cliquez ou appuyez ici pour entrer du texte.

202. Avez-vous des enfants vivant avec vous ?

☐Oui

☐Non ► **aller à la question 206**

203. Relation	204. Âge	205. Niveau d'éducation
<input type="checkbox"/> Fille <input type="checkbox"/> Fils	Cliquez ou appuyez ici pour entrer du texte.	<input type="checkbox"/> En cours <input type="checkbox"/> Primaire <input type="checkbox"/> Secondaire <input type="checkbox"/> Préuniversitaire <input type="checkbox"/> Supérieur <input type="checkbox"/> Autre : Cliquez ou appuyez ici pour entrer du texte. <input type="checkbox"/> Aucun <input type="checkbox"/> Non déclaré

206. Y a-t-il d'autres personnes vivant avec vous ?

☐Sí

☐No ► **fin de la section**

207. Relation	208. Sexe	209. Âge	210. Niveau d'éducation
<input type="checkbox"/> Époux/épouse <input type="checkbox"/> Petit-fils/petite-fille <input type="checkbox"/> Père/mère <input type="checkbox"/> Frère/sœur <input type="checkbox"/> Neveu/nièce <input type="checkbox"/> Beau-fils/belle-fille <input type="checkbox"/> Beau-parent <input type="checkbox"/> Autre personne parente <input type="checkbox"/> Autre personne non-parente	<input type="checkbox"/> Homme <input type="checkbox"/> Femme	Cliquez ou appuyez ici pour entrer du texte.	<input type="checkbox"/> En cours <input type="checkbox"/> Primaire <input type="checkbox"/> Secondaire <input type="checkbox"/> Préuniversitaire <input type="checkbox"/> Supérieur <input type="checkbox"/> Autre : Cliquez ou appuyez ici pour entrer du texte. <input type="checkbox"/> Aucun <input type="checkbox"/> Non déclaré

Section 3 : activité agricole

301. Combien de parcelles possédez-vous ?

☐1

☐2

☐ 3 ou plus

302. Quelle est la taille de ces parcelles ?

Cliquez ou appuyez ici pour entrer du texte.

303. Parmi vos arbres, combien de cacaotiers possédez-vous ?

Cliquez ou appuyez ici pour entrer du texte.

304. Quel âge ont vos cacaotiers ?

☐ 0-3 ans

☐ 3-5 ans

☐ 5-10 ans

☐ 10-20 ans

☐ 20-30 ans

☐ Plus de 30 ans

305. Combien de variétés cultivez-vous ?

☐ 1

☐ 2

☐ 3 et plus

306. Parmi celles-ci, cultivez-vous :

☐ Cacao criollo (traditionnel)

☐ Cacao forastero (campesino)

☐ Cacao trinitario

☐ Autre cacao hybride

☐ Pataxte (cacao blanco, Theobroma bicolor)

☐ Ne sait pas

307. Combien de récoltes faites-vous par année ?

☐ 1

☐ 2

☐ 3 et plus

308. Combien de personnes participent à la culture de manière permanente (durant toute l'année) ?

Cliquez ou appuyez ici pour entrer du texte.

309. Combien de personnes maximum participent à la culture (lorsque les besoins en main-d'œuvre sont les plus forts) ?

Cliquez ou appuyez ici pour entrer du texte.

310. Employez-vous des gens ?

☐ Oui

☐ Non ► aller à la question 314

311. Combien de personnes ?

Cliquez ou appuyez ici pour entrer du texte.

312. Durant combien de semaines de l'année ?

Cliquez ou appuyez ici pour entrer du texte.

313. Quel est le salaire par semaine ?

Cliquez ou appuyez ici pour entrer du texte.

314. Utilisez-vous une partie de la récolte de cacao pour votre consommation personnelle ?

☐ Oui

☐ Non

315. Quelle partie de la récolte de cacao vendez-vous à la coopérative CASFA ?

☐ La totalité ► **aller à la question 318**

☐ Les trois-quarts

☐ La moitié

☐ Le quart

☐ Rien

316. Pourquoi ?

☐ Variété non conforme aux exigences de CASFA

☐ Prix de vente plus attractif ailleurs

☐ Autre lieu de vente plus accessible

☐ Capacité de réponse de CASFA trop lente

☐ Autre : Cliquez ou appuyez ici pour entrer du texte.

317. À qui le vendez-vous ?

☐ Vente directe (marchés, etc.)

☐ « Coyotes » (intermédiaires)

☐ Autre coopérative : Cliquez ou appuyez ici pour entrer du texte.

☐ Autre : Cliquez ou appuyez ici pour entrer du texte.

318. Quelles espèces possédez-vous sur votre parcelle ?

☐ Pataste (*Sechium edule*)

☐ Mandarina (*Citrus reticulata*)

☐ Limón (*Citrus x limon*)

☐ Limón persa (*Citrus latifolia et Citrus aurantiifolia*)

☐ Naranja (*Citrus sinensis*)

☐ Bananos (*Musa*)

☐ Plátanos (*Musa x paradisiaca*)

☐ Papayas (*Carica papaya*)

☐ Pacaya (*Chamaedorea tepejilote*)

☐ Chile (*Capsicum annuum*)

☐ Chaya (*Cnidoscolus aconitifolius*)

☐ Anona (*Annona cherimola*)

☐ Papause (*Annona macrophyllata*)

☐ Aguacate (*Persea americana*)

☐ Zapote (*Pachira aquatica*)

☐ Mango (*Mangifera indica*)

☐ Piña (*Ananas comosus*)

☐ Goyava (*Psidium guajava*)

☐ Carambola (*Averrhoa carambola*)

☐ Pomarrosa (*Syzygium jambos*)

☐ Sapodilla (*Manilkara zapota*)

☐ Autre: Cliquez ou appuyez ici pour entrer du texte.

319. Consommez-vous certaines de ces espèces ?

☐ Oui

☐ Non

320. Vendez-vous certaines de ces espèces ?

☐ Oui

☐ Non

321. Offrez-vous/échangez-vous certaines de ces espèces ?

☐ Oui

☐ Non

322. Quelles sont les espèces que vous n'utilisez pas ?

Cliquez ou appuyez ici pour entrer du texte.

☐ Aucune ► **aller à la question 324**

323. Dans ce cas, pourquoi cultivez-vous ces espèces ?

☐ Ombre

☐ Enrichissement du sol en nutriments

☐ Refuge/nourriture pour les prédateurs de parasites

☐ Maintien de la qualité de l'eau

☐ Caractère sacré/esthétisme

☐ Autre : Cliquez ou appuyez ici pour entrer du texte.

► **Si réponse positive à la question 319**

324. Quelle est la part de fruits et légumes que vous utilisez pour votre consommation personnelle ?

☐ La totalité

☐ Les trois-quarts

☐ La moitié

☐ Le quart

	325. Combien de récoltes/kilos récoltez-vous par an ?	326. Combien (en pesos) gagnez-vous par récolte/kilo ?
Cacao (<i>Theobroma cacao</i>)		
Pataste (<i>Sechium edule</i>)		
Mandarina (<i>Citrus reticulata</i>)		
Lemón (<i>Citrus x limon</i>)		
Citron vert (<i>Citrus latifolia</i> et <i>Citrus aurantiifolia</i>)		
Naranja (<i>Citrus sinensis</i>)		
Bananos (<i>Musa</i>)		
Plátanos (<i>Musa x paradisiaca</i>)		
Papayas (<i>Carica papaya</i>)		
Pacayas (<i>Chamaedorea tepejilote</i>)		
Chile (<i>Capsicum annuum</i>)		
Chaya (<i>Cnidoscolus aconitifolius</i>)		
Anona (<i>Annona cherimola</i>)		
Papause (<i>Annona macrophyllata</i>)		
Aguacate (<i>Persea americana</i>)		
Zapote (<i>Pachira aquatica</i>)		
Mango (<i>Mangifera indica</i>)		
Piña (<i>Ananas comosus</i>)		
Goyava (<i>Psidium guajava</i>)		
Carambola (<i>Averrhoa carambola</i>)		

	325. Combien de récoltes/kilos récoltez-vous par an ?	326. Combien (en pesos) gagnez-vous par récolte/kilo ?
Pomarrosa (<i>Syzygium jambos</i>)		
Sapodilla (<i>Manilkara zapota</i>)		
Otro: Cliquez ou appuyez ici pour entrer du texte.		

327. Possédez-vous des revenus de la vente de bois ?

☐ Oui

☐ Non

328. Utilisez-vous du bois (chauffage, etc.) ?

☐ Oui

☐ Non

► Si réponse positive à la question 327 et/ou 328

329. Quelles sont les espèces que vous exploitez ?

☐ Cèdre (*Cedrella odorata*)

☐ Roble (*Tabebuia rosea*)

☐ Primavera (*Tabebuia donnel-smithii*)

☐ Sapotillier (*Manilkara zapota*)

☐ Autre : Cliquez ou appuyez ici pour entrer du texte.

► Si réponse positive à la question 328

330. Combien gagnez-vous pour la vente de bois par année ?

Cliquez ou appuyez ici pour entrer du texte.

331. Possédez-vous des herbes médicinales/aromatiques ?

☐ Oui

☐ Non ► aller à la question 335

332. Quelles sont les espèces que vous utilisez ?

☐ Murallas (*Murraya paniculata*)

☐ Hoja de cancer (*Tournefortia glabra* L.)

☐ Corrimientos (*Peperomia pellucida* [L.] Kunth)

☐ Mala mujer (*Cnidoscolus multilobus*)

☐ Arnica (*Arnica montana*)

☐ Cundeamor (*Momordica charantia*)

☐ Macus (*Nicotiana*)

☐ Lavaplatos (*Solanum torvum* Swartz)

☐ Autre : Cliquez ou appuyez ici pour entrer du texte.

	333. Par récolte, combien de temps mettez-vous à (en jours) :	334. Par récolte, quels sont les coûts (en pesos) :
Traitements	Cliquez ou appuyez ici pour entrer du texte.	Cliquez ou appuyez ici pour entrer du texte.
Élagage	Cliquez ou appuyez ici pour entrer du texte.	Cliquez ou appuyez ici pour entrer du texte.

	333. Par récolte, combien de temps mettez-vous à (en jours) :	334. Par récolte, quels sont les coûts (en pesos) :
Récolte	Cliquez ou appuyez ici pour entrer du texte.	Cliquez ou appuyez ici pour entrer du texte.
Nettoyage des cabosses	Cliquez ou appuyez ici pour entrer du texte.	Cliquez ou appuyez ici pour entrer du texte.
Fermentation	Cliquez ou appuyez ici pour entrer du texte.	Cliquez ou appuyez ici pour entrer du texte.
Séchage	Cliquez ou appuyez ici pour entrer du texte.	Cliquez ou appuyez ici pour entrer du texte.
Transport	Cliquez ou appuyez ici pour entrer du texte.	Cliquez ou appuyez ici pour entrer du texte.
Mise en sac	Cliquez ou appuyez ici pour entrer du texte.	Cliquez ou appuyez ici pour entrer du texte.
Autre : Cliquez ou appuyez ici pour entrer du texte.	Cliquez ou appuyez ici pour entrer du texte.	Cliquez ou appuyez ici pour entrer du texte.

335. Travaillez-vous ailleurs que sur votre parcelle ?

☐ Oui

☐ Non ► **aller à la question 340**

336. C'est une activité dans laquelle vous travaillez :

☐ Toute l'année

☐ Ponctuellement (indiquer la durée) : Cliquez ou appuyez ici pour entrer du texte.

337. C'est une activité :

☐ À temps plein

☐ Entre 30 et 40 heures par semaine

☐ Entre 20 et 30 heures par semaine

☐ Entre 10 et 20 heures par semaine

☐ Moins de 10 heures par semaines

338. Quelle est cette activité ?

Cliquez ou appuyez ici pour entrer du texte.

339. Quelle est votre salaire (en pesos) par semaine ?

Cliquez ou appuyez ici pour entrer du texte.

340. Parmi les gens habitant avec vous, y a-t-il des personnes travaillant ailleurs que sur la parcelle ?

☐ Oui

☐ Non ► **fin de la section**

341. Qui pratique cette activité ?	342. C'est une activité qu'il/elle pratique :	343. C'est une activité :	344. Quelle est cette activité ?	345. Quelle est votre salaire (en pesos) par semaine ?
Cliquez ou appuyez ici pour entrer du texte.	<input type="checkbox"/> Toute l'année <input type="checkbox"/> Ponctuellement (indiquer la durée) : Cliquez ou appuyez	<input type="checkbox"/> À temps plein	Cliquez ou appuyez ici pour entrer du texte.	Cliquez ou appuyez ici pour entrer du texte.

341. Qui pratique cette activité ?	342. C'est une activité qu'il/elle pratique :	343. C'est une activité :	344. Quelle est cette activité ?	345. Quelle est votre salaire (en pesos) par semaine ?
	ici pour entrer du texte.	<input type="checkbox"/> Entre 30 et 40 heures par semaine <input type="checkbox"/> Entre 20 et 30 heures par semaine <input type="checkbox"/> Entre 10 et 20 heures par semaine <input type="checkbox"/> Moins de 10 heures par semaines		

Section 4 : revenus

401. Lors des douze derniers mois, quels furent vos revenus ?

Cliquez ou appuyez ici pour entrer du texte.

402. Quelle partie vient de la production de cacao ?

- ☐ La totalité
- ☐ Les trois-quarts
- ☐ La moitié
- ☐ Le quart
- ☐ Rien

► aller directement à la question 405 si les personnes sont entrées dans la coopérative il y a moins de 5 ans

403. Votre revenu était-il plus ou moins élevé il y a 5 ans ?

- ☐ Plus
- ☐ Moins
- ☐ Équivalent
- ☐ Ne sait pas

► aller directement à la question 405 si les personnes sont entrées dans la coopérative il y a moins de 10 ans

404. Votre revenu était-il plus ou moins élevé il y a 10 ans ?

- ☐ Plus
- ☐ Moins
- ☐ Équivalent
- ☐ Ne sait pas

405. Votre revenu était-il plus ou moins élevé avant d'entrer dans la coopérative ?

- ☐ Plus
- ☐ Moins
- ☐ Équivalent

☐ Ne sait pas

406. Possédez-vous un livre de compte ou un moyen de suivi de vos finances ?

☐ Oui

☐ Non

407. Possédez-vous un accès facile au crédit ?

☐ Oui

☐ Non

408. Avez-vous eu un crédit durant votre vie ?

☐ Oui

☐ Non ► **fin de la section**

409. Vous devez faire des crédits :

☐ De façon exceptionnelle

☐ Tous les ans/régulièrement

410. Possédez-vous un crédit en ce moment ?

☐ Oui

☐ Non ► **fin de la section**

411. Quel est son montant (en pesos) ?

Cliquez ou appuyez ici pour entrer du texte.

Section 5 : pauvreté subjective

501. Comment avez-vous entendu parler de CASFA ?

☐ Par un ami

☐ Une rencontre avec un des responsables de l'organisme

☐ Une annonce

☐ Autre : Cliquez ou appuyez ici pour entrer du texte.

502. Pourquoi avez-vous décidé d'entrer dans la coopérative ?

☐ Les opportunités de vente

☐ La formation

☐ Les infrastructures

☐ Les revenus

☐ Le prestige

☐ Autre : Cliquez ou appuyez ici pour entrer du texte.

☐ Ne s'applique pas (fondateur)

503. Depuis votre entrée dans la coopérative, vous avez l'impression que votre situation financière :

☐ S'est améliorée

☐ S'est empirée

☐ Reste inchangée

504. Considérez-vous que votre revenu est stable ?

☐ Oui

☐ Non

505. Vos revenus permettent-ils de vous maintenir, ainsi que votre famille ?

☐ Oui

☐ Non

506. Manquez-vous d'argent entre les récoltes

☐Oui

☐Non

507. Avez-vous l'impression que la présence de CASFA a des impacts positifs sur votre ménage ?

☐Oui

☐Non ► **aller à la question 509**

508. Lesquels ?

☐Meilleurs revenus

☐Visibilité

☐Accès aux services (crédits...)

☐Accès aux infrastructures (transport...)

☐Autre : Cliquez ou appuyez ici pour entrer du texte.

509. Avez-vous l'impression que la présence de CASFA a des impacts positifs sur la communauté ?

☐Oui

☐Non ► **aller à la question 511**

510. Lesquels ?

☐Meilleurs revenus

☐Confiance

☐Accès aux infrastructures (transport...)

☐Autre : Cliquez ou appuyez ici pour entrer du texte.

511. Avez-vous l'impression que la présence de CASFA a des impacts négatifs sur votre ménage ?

☐Oui

☐Non ► **aller à la question 513**

512. Lesquels ?

☐Reduction de revenus

☐Effondrement de la production

☐Effondrement des ventes

☐Autres : Cliquez ou appuyez ici pour entrer du texte.

513. Avez-vous l'impression que la présence de CASFA a des impacts négatifs sur la communauté ?

☐Sí

☐No ► **aller à la question 515**

514. Lesquels ?

☐Baisse de confiance

☐Autre : Cliquez ou appuyez ici pour entrer du texte.

515. De façon générale, pensez-vous que la présence de CASFA soit positive pour votre famille ?

☐Oui

☐Non

516. De façon générale, pensez-vous que la présence de CASFA soit positive pour la communauté ?

☐Oui

☐Non

517. Avez-vous l'impression que votre état de santé s'est amélioré ?

☐Oui

☐Non

518. Lors de vos activités agricoles, quelles sont vos difficultés ?

☐Présence de maladies (moniliose, mancha negra, escoba de bruja...)

- ☐ Intempéries
- ☐ Dans la vente de vos produits (débouchés)
- ☐ Dans le respect des exigences de qualité de la coopérative
- ☐ Dans le respect des normes biologiques de la coopérative
- ☐ Dans le respect des normes de diversité agricole de la coopérative
- ☐ Manque de main-d'œuvre
- ☐ Pertes lors des processus de fermentation ou de séchage
- ☐ Dans la communication avec CASFA
- ☐ Distance avec CASFA
- ☐ Manque d'infrastructure
- ☐ Prix d'achat du cacao trop bas
- ☐ Autre : Cliquez ou appuyez ici pour entrer du texte.
- ☐ Rien

519. Pensez-vous que certains de ces éléments pourraient améliorer votre productivité ?

- ☐ Traitement contre les maladies (moniliose...)
- ☐ Accès à des formations
- ☐ Plus de main-d'œuvre
- ☐ Partage de matériel agricole
- ☐ Avoir une meilleure technique de rénovation des plantes
- ☐ Nouvelles espèces plus productives
- ☐ Crédits
- ☐ Autres : Cliquez ou appuyez ici pour entrer du texte.
- ☐ Rien

Annexe 4 : Code dans R nécessaire à l'analyse de données

```
# Durabilite de la production de cacao
# Maelle Tripon
# Maitrise en environnement, universite de Sherbrooke
# Fevrier 2020

library(AICcmodavg)
library("vegan")
library("MASS")
library("corrplot")
library(systemfit)
library(plyr)

#### Chargement des donnees ####

# Verification du dossier des donnees
setwd
("C:/Users/maell/Documents/Maelle/Documents/ETUDES/SHERBROOKE/MEMOIRE/DONNEES/Results/
Traitement_ensemble_donnees")
getwd()

# Chargement des donnees
# Donnees socioeconomiques
Menages<-read.csv ("DonneesMenages10_2019B.csv", na.strings = "NA", sep = ";",
                  head=TRUE, stringsAsFactors = TRUE, dec = ",")

# Donnees ecologiques et socioeconomiques
All<-read.csv("Parcelles_Menages_29-10-19.csv", na.strings = "NA", sep = ";",
             head=TRUE, stringsAsFactors = TRUE, dec = ",")
```

```

Especes<-read.csv2 ("Comm_agrof_tree.csv") # Occurrence des arbres
Especes1 <- Especes [,-1]
Shan = diversity(Especes1) # Calcul de l'indice de Shannon
All [," Shan"] = Shan # Ajout de la colonne avec l'indice de Shannon
read.csv2 (Shan, "Shan.csv")
All [,-5]
rm (Especes)
rm(Especes1)

# rename var
names (Menages) [1] = "NUM"
names (All) [15]= "PRODTE_SURF"

# Obtenir le bon nom de ligne (code des menages)
Menages3 <- Menages [,-1]
rownames(Menages3) <- Menages [, 1]
Menages = Menages3
rm(Menages3)

All3 <- All[,-1]
rownames(All3) <- All[,1]
All = All3
rm(All3)

##### MODELES LINEAIRES #####

##### Code generique pour obtenir les modeles #####

```



```

# Equations saturees
# Definir ici l'equation saturee (avec toutes les variables)
NomDeEQUATION

# Sortir les etiquettes de variables pour construire la formule
Var = attr (NomDeEQUATION $ terms, "term. labels") # Nombre de variables
n = length (Var) - 1 # Longueur du modele
modelNotFound = TRUE # Condition de debut de modele
refResult = NomDeEQUATION # Resultat de reference

### Stepwise backward method
while (modelNotFound & n> 1) # While there is more than one variables and no model found
{
  models_ls = combn(Var, n) # Models list
  nbModels = ncol(models_ls) # Nb de modele
  results = vector(nbModels + 1, mode = "list") # Liste vide des modeles (nombre de colonnes = nb
de modeles)
  for (i in 1:nbModels)
  {
    results [[i]] = lm (as.formula(paste("VariableDependante ~",
                                         paste(models_ls[, i], collapse = '+'))), data = NomDeLaBaseDeDonnees) #
Creation de tous les modeles a tester
  }
  results [[nbModels + 1]] = refResult # Ajout dans la liste du modele de depart (modele de
reference)

  aic = aictab (cand.set = results, sort = TRUE) # Caclul des AIC
  cat ("AIC :", aic$AICc) # Imprimer les aic
  idRefModel = as. integer (rownames[aic [1, ]]) # Modeles classes de l'AIC le plus petit
  # au plus grand. Donc on prend la premiere ligne (AICc le plus petit) comme ref
  if (idRefModel == nbModels + 1) # Works only if the last model is the refModel

```

```

{
    modelNotFound = FALSE
} else {
    Var = models_ls[ , idRefModel] # Resetter les variables qui vont etre utilisees dans le
programme
    refResult = results [[idRefModel]] # Resultat de ref devient le modele
    n = n - 1 # On enleve une longueur de modele (une variable en moins)
    cat ("Modele :", Var)
    cat ("Modele choisi :", rownames [aic [1, ]], "Nombre de variables :", n)
}
}

warnings () # Devrait prevenir que le nom des candidats est automatique
print (paste0 ["Best model: ", paste("VariableDependante ~ ",
    paste(Var, collapse = " + "))) # Imprimer le modele selectionne

#### Modeles finaux obtenus par backward stepwise regression ####

Revenu_fin <- lm (formula = log(DEPENSES_PERS) ~ LOC + log(MENAGE) + log(AGE2) +
    ETUDES1 + OTHERS + COY_COOP + log(AN_ENTREE) + TYPE_CAC, data = Menages)

# La variable MUNIP a ete enlevee dans l'equation suivante (multicolinearite testee
# a l'aide de la fonction vif)
PauvSubj_fin <- glm (formula = MANQUE ~ DIST + SEXE1 + AGE2 + PERSONNEL +
    POULTRY + CREDIT + AN_ENTREE, family=binomial(link=logit),
    data=Menages)

Prodte_finAIC <- lm (formula = PRODTE_SURF ~ BIOM_AER + SURF_CAC,

```

```

data=All)

#### MODELE SUR SOCIOECOLOGIQUE ####

# Modele SUR integrant a la fois les modeles ecologiques et economiques obtenus

#### Creation des variables manquantes (mapping) ####

# Nombre de variables de l'equation ecologique insuffisant

## Chargement des donnees necessaires pour le mapping

Mapping = read.csv2("Mapping_data.csv", stringsAsFactors = FALSE)

Nb_esp <- lm (formula = NB_ESP ~ TAILLE_PARC + LOC, data = All) # Equation de regression
Esp_data = Mapping[,c(11)]
Esp_mapping = (Nb_esp$coefficients[2] %*% Esp_data) +
  Nb_esp$coefficients[1]
is.num <- sapply(Esp_mapping, is.numeric)
Esp_mapping [is.num] <- lapply (Esp_mapping[is.num], round, 0)#Avoir des nb entiers

# Mapping

Biomasse <- lm (formula = BIOM_TOT ~ TAILLE_PARC, data = All) # Equation de regression
Biomasse_data = Mapping [,c(11)] # Creation de la matrice de donnees
# Creation des nouvelles donnees BIOMASSE
Biomasse_mapping = (Biomasse $ coefficients [2] %*% Biomasse_data) +
  Biomasse$coefficients[1]
boxplot(MAPPING[,4], All$BIOM_TOT, ylab = "PH")
summary(MAPPING[,4]) # Moy Mapping : 22823
summary(All$BIOM_TOT) # Moy reelle : 22823
var(MAPPING[,4], na.rm = TRUE) # Variance Mapping : 12 410 905
var (All$BIOM_TOT) # Varuance reelle : 115 118 065

```

```

Shannon <- lm(formula = Shan ~ AGE1, data = All)
Shannon_data = Mapping[,c(8)]
Shannon_mapping = (Shannon$coefficients[2] %*% as.numeric(Shannon_data)) +
  Shannon$coefficients[1]
boxplot(MAPPING[,3], All$Shan, ylab = "Indice de Shannon")
summary(MAPPING[,3]) # Moy Mapping : 0.7606
summary(All$Shan) # Moy réelle : 0.73325
var(MAPPING[,3], na.rm = TRUE) # Variance Mapping : 0.006923014
var(All$Shan) # Variance réelle : 0.1030592

pH <- lm(formula = PH ~ TAILLE_PARC, data = All)
pH_data = as.matrix(Mapping[,11])
pH_mapping = (pH$coefficients[2] %*% pH_data[,1]) + pH$coefficients[1]
boxplot(MAPPING[,2], All$PH, ylab = "PH")
summary(MAPPING[,2]) # Moy Mapping : 6,083
summary(All$PH) # Moy réelle : 6,083
var(MAPPING[,2], na.rm = TRUE) # Variance Mapping : 0,035
var (All$PH) # Variance réelle : 0,32

BULKD <- lm(formula = BULK ~ AGE1 + TAILLE_PARC, data = All)
BULKD_data = as.matrix(Mapping[,c(8, 11)])
BULKD_mapping = (BULKD $ coefficients [2] %*% BULKD_data[, 1]) +
  (BULKD $ coefficients [3] %*% BULKD_data[, 2]) + BULKD$coefficients[1]
# Verification des moments (moyenne et variance) entre echantillons estimes et echantillon reel
boxplot (MAPPING[,1], All$BULK, ylab = "Bulk density")
summary (MAPPING[,1]) # Moy Mapping : 1,11
summary(All $ BULK) # Moy réelle : 1,12
var(MAPPING[,1], na.rm = TRUE) # Variance Mapping : 0,000 5

```

```

var (All $ BULK) # Variance reelle : 0,005

# Ajout des colonnes a la matrice finale avec les nouvelles valeurs
Mapping $ BULK = as. vector(BULKD_mapping)
Mapping $ pH = as. vector(pH_mapping)
Mapping $ Shan = as. vector(Shannon_mapping)
Mapping$NB_ESP = as. vector(Esp_mapping)
Mapping $ BIOM = as. vector(Biomasse_mapping)

write.csv2 (Mapping$NB_ESP, "Esp.csv")

write.csv2 (Mapping, "Mapping_results.csv")

##### Creation des modeles SUR #####
# Chargement des donnees contenant a la fois le mapping et les donnees originales
DataModSocioecol = read.csv2 ("Mapping_ParcellesMenages.csv")

# Chargement des deux formules de base (issues de la selection de modele precedente)
Prodte_fin_SUR <- lm (formula = PRODTE_SURF ~ BIOM + TAILLE_CACAO,
                     data=DataModSocioecol)

# Chargement des formules de deux regressions precedentes
System <- list(formula(Revenu_fin), formula(Prodte_fin_SUR))
SURModel = systemfit(System, method = "SUR", data = DataModSocioecol)
summary(SURModel)

```

Annexe 5 : Résultats du facteur d'inflation de la variance (vif) pour les modèles

Cette annexe présente les valeurs de vif des différents modèles présentés dans le mémoire.

Tableau A5-1 : Valeur de vif des modèles socioéconomique

	Modèle de dépenses mensuelles	Modèle de pauvreté subjective	Modèle de pauvreté subjective après correction (moins « Municipale »)
Localisation	1,277 8	--	--
Municipes	--	636 970	--
Distance à Tapachula	--	179 376	1 319
Nombre de personnes dans le ménage	1,133 5	--	--
Âge ²	1 642	1 313	1 057
Sexe du chef de famille	--	1 673	1 096
Niveau d'études du chef de famille	1 924	--	--
Circuit de distribution (intermédiaire/coopérative)	2 790	--	--
Nombre d'années dans la coopérative	1 159	1 783	1 128
Type de cacao (fermenté, lavé ou frais)	3 179	--	--
Présence de personnel	--	1 700	1 153
Présence de volaille	--	1 489	1 330
Crédit	--	1 000	1 000

Tableau A5-2 : Valeur de vif du modèle écologique

	Valeur de vif
Biomasse aérienne	1 007
Surface de la parcelle	1 007

Annexe 6 : Relations linéaires utilisées pour le mapping de données

Variable à déterminer	Variable régresseurs	Coefficient	Valeur p
Biomasse aérienne $R^2 = 1,45$	Intercept	26886	$5,18 \cdot 10^{-8}$
	Taille de la parcelle	-713,8	0,233
Indice de Shannon $R^2 = 2,84$	Intercept	1,20	$7,69 \cdot 10^{-5}$
	Age du chef de famille	-0,004	0,35
pH $R^2 = 1,52$	Intercept	5,87	$<2 \cdot 10^{-16}$
	Taille de la parcelle	0,04	0,22

Annexe 7 : Statistiques complètes par groupe d'exploitations agricoles

Les tableaux suivants présentent les statistiques descriptives par groupe d'exploitations agricoles. Le tableau 7.1 présente les caractéristiques de l'exploitation, le tableau 7.2 la composition de exploitations (type de culture de rente et présence de bétail ou de volaille), le tableau 7.3 les circuits de vente du cacao et la présence de moniliose, le tableau 7.4 la répartition des revenus au sein des exploitations et le tableau 7.5 les caractéristiques socioéconomiques des chefs de famille.

Tableau 7.1 : Caractéristiques de l'exploitation

GROUPE	Taille de l'exploitation		Taille de la parcelle de cacao		Nombre de travailleurs permanents		Personnel employé		Nombre de travailleurs max		Dépenses par personne	
	Moyenne	Ecart-type	Moyenne	Ecart-type	Moyenne	Ecart-type	Moyenne	Ecart-type	Moyenne	Ecart-type	Moyenne	Ecart-type
1	5,92	4,74	3,83	2,36	1,94	0,73	1,28	1,67	3,44	3,54	3383	2160
2	5,88	4,51	3	2,63	2,32	0,98	1,82	1,74	3,21	1,57	1920	1429
3	6,68	6,49	3,63	2,46	2,16	1,61	1,55	1,67	3,35	2,39	2088	1904
4	4,1	2,07	2,93	1,12	1,67	1,02	1,86	1,11	2,62	0,92	1929	1891
5	5,88	3,10	3,24	1,83	2,2	1,61	2,36	2,16	3,48	2,14	3624	6993

Tableau 7.2 : Composition des cultures et des animaux

GROUPE	Café	Banane	Mangue	Maïs	Palmier à huile	Pâturage	Bétail	Volaille
1	11,11	0	5,56	16,66	0	5,56	5,55	11,11
2	2	10,71	25	14,28	3,57	10,71	39,28	78,57
3	25,81	0	9,68	9,68	9,68	9,68	19,35	74,19
4	23,81	0	0	0	0	0	0	14,29
5	96	0	8	0	0	0	0	76

Tableau 7.3 : Caractéristiques de la vente et la culture du cacao

GROUPE	Monilia		Type de transformation du cacao			Circuit de distribution	
	Absence	Présence	Fermenté	Frais	Lavé	Coopérative	Intermédiaires
1	44,44	55,55	33,33	55,56	11,11	16,67	83,33
2	96,43	3,57	14,29	82,14	3,57	7,14	92,86
3	70,97	29,03	6,45	0	93,55	96,77	3,23
4	33,33	66,67	0	66,67	33,33	33,33	66,67
5	96	4	4	64	32	32	68

Tableau 7.4 : Répartition des revenus

GROUPE	% cacao	% autres cultures	% aides	% autres revenus
1	14,60	47,21	3,5	28,89
2	37,94	28,39	11,87	28,66
3	31,74	42,22	5,38	17,03
4	50,17	4,64	6,79	38,45
5	30,47	39,39	6,75	18,12

Tableau 7.5 : Caractéristiques socioéconomiques des chefs de famille

GROUPE	Niveau d'étude					Age moyen du chef de famille	Taille du ménage
	Absence (%)	Primaire (%)	Secondaire (%)	Pré-universitaire (%)	Plus (%)		
1	33,33	22,22	11,11	27,78	5,56	59,77 (12,53)	4,94 (3,89)
2	0	35,71	35,71	25	3,57	50,74 (14,37)	4,32 (1,82)
3	19,35	29,03	41,94	6,45	3,23	55,97 (13,14)	3,84 (1,97)
4	14,29	57,14	9,52	19	0	60,95 (15,52)	4 (1,41)
5	16	40	20	16	8	56,64 (15,26)	4,92 (2,38)

Annexe 8 : Présentation de deux exploitations agricoles (étude de cas)

Cette section présente les cas de deux exploitations, pour montrer les différentes caractéristiques que l'on retrouve selon les ejidos et le type de culture présent sur l'exploitation.

Exploitation A

L'exploitation A se situe à Chamulapita (municipe de Huehuetan, zone de piémont) et fait partie du groupe 4 (cacao cultivé traditionnellement). Elle est composée d'une parcelle de 6,5 ha, qui se situe à environ une heure de marche du village. Elle est accessible par un chemin avec un véhicule tout-terrain uniquement lors de la saison sèche. Cette exploitation sert de centre de collecte de cacao pour Chamulapita et l'ejido voisin (Flor de un día) depuis 2018, c'est-à-dire que les producteurs de la coopérative peuvent apporter leur cacao frais en grain et que l'exploitant se charge de la fermentation et du séchage. Cette exploitation est donc un des intermédiaires entre les producteurs et la coopérative CASFA. Elle est gérée par le ménage (trois personnes, dont le père de 56 ans, la mère de 58 ans et le fils de 22 ans). Elle comporte aussi de nombreux travailleurs, dont certains sont des membres de la famille ne vivant pas dans le ménage.

Cinq travailleurs permanents gèrent la parcelle (deux travailleurs familiaux) et le centre de fermentation (trois travailleurs, dont un membre du ménage, un membre de la famille et un employé). Lors des périodes de récolte, ce nombre peut doubler et il se compose principalement des membres de la famille. En effet, les deux fils de l'exploitant possèdent des parcelles voisines et l'ensemble de la famille travaille sur les parcelles, bien qu'ils constituent des ménages distincts (lieux de vie et finances séparés). Les femmes et les enfants de plus de 12 ans, quand ils ne sont pas à l'école, participent ponctuellement à la récolte, lorsque la demande en main d'œuvre est importante.

La parcelle est entièrement composée de cacaotiers, qui sont plantés tous les deux mètres. Le couvert forestier est composé d'orangers (*Citrus sinensis*), de laurier (*Cordia alliodora*) et de mádron (*Calycophyllum candidissimum*), arbres qui peuvent être utilisés pour leur bois. Toutefois, aucun de ces arbres n'est utilisé pour la consommation personnelle du ménage ou pour la vente, ils servent simplement à l'ombre des cacaotiers. La densité d'arbres est d'environ 500 cacaotiers et 52 arbres d'ombre à l'hectare, ce qui en fait une parcelle relativement ouverte. La biomasse aérienne est de 101 t/ha, ce qui est inférieur à la moyenne de l'ensemble des parcelles visitées (152 t/ha) et peut s'expliquer par le fait que certains endroits de la parcelle sont moins denses, car la moitié de la parcelle est en pente forte, ce qui ne facilite pas son exploitation. La parcelle est humide et traversée par un cours d'eau, mais il n'y a pas de moniliose sur les cacaotiers. La matière organique du sol est de 4,95%, ce qui est considéré comme convenable. Le pH est de 5,3, ce qui correspond à un sol acide.

Les revenus de l'exploitation sont détaillés à la figure 8-1.

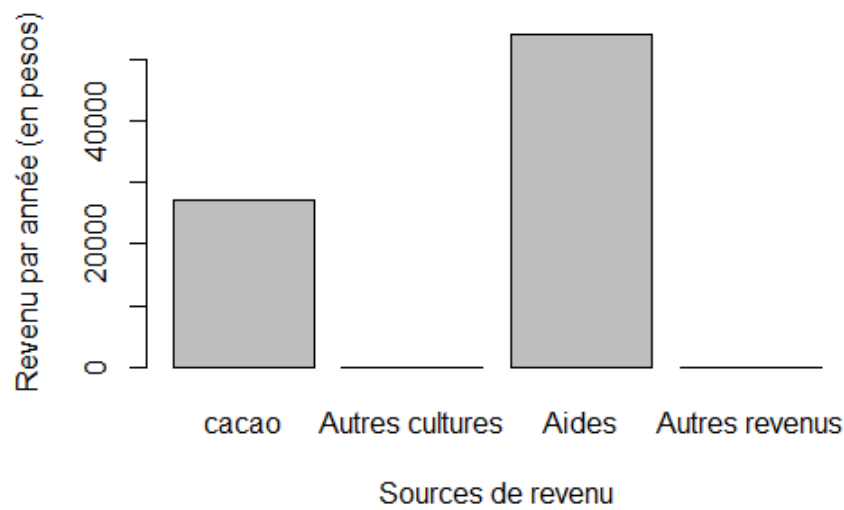


Figure 8-1 Revenus par année de l'exploitation A

Un tiers des revenus de l'exploitation sont ceux issus du cacao. Plus que les revenus de la parcelle, ce sont ceux du centre de fermentation (achat de cacao frais puis revente à un prix plus élevé à la coopérative après fermentation) qui expliquent la part importante du cacao dans les revenus. L'exploitation fait également partie du programme *Sembrando vida*, ce qui explique la part occupée par les aides. Le chef de famille signale une augmentation des revenus depuis l'installation du centre de fermentation, qui a permis d'augmenter fortement les revenus liés au cacao.

Exploitation B

L'exploitation B se situe à Plan de Ayala (municipe de Huehuetan, zone de plaine) et fait partie du groupe 2 (cacao faisant partie d'une stratégie de diversification des revenus). Elle se situe aux limites de l'ejido, au milieu d'autres parcelles de cacao, de bananiers et de palmier à huile, et est aisément accessible par la route. Elle est composée d'une parcelle de 12 hectares, dont 2 hectares sont consacrés à la culture du cacao, 8 ha à la culture du palmier à huile et 2 ha à la culture de mangues. Le ménage est composé de deux personnes : l'exploitante (24 ans) et sa mère (72 ans). Trois permanents travaillent sur l'exploitation, dont deux employés. Ce chiffre double lors des périodes de récolte du palmier à huile et du cacao, avec un employé supplémentaire et deux autres membres de la famille qui ne vivent pas dans le ménage. L'exploitation possède également une dizaine de chèvres, qui n'ont pas été vendues l'année passée, et une vingtaine de poules qui servent pour la consommation du ménage.

La parcelle de cacaotier est très dense, avec 900 cacaotiers par hectare, ce qui explique que la biomasse aérienne soit plus élevée que la moyenne de l'échantillon (213 kg/ha contre 152 kg/ha). Le couvert est uniquement composé de bananiers (*Musa paradisiaca*) (310 plants/ha). On pourrait considérer cette parcelle comme une parcelle de plein soleil, puisque les bananiers n'offrent pas d'ombre aux cacaotiers. La matière organique est très faible (1,39 %). Il n'y a pas de présence de moniliose sur la parcelle. Le producteur souligne que la moniliose a disparu quand il a coupé ses arbres d'ombre et les a remplacés par des bananiers.

Les revenus de l'exploitation sont détaillés à la figure 8-2.

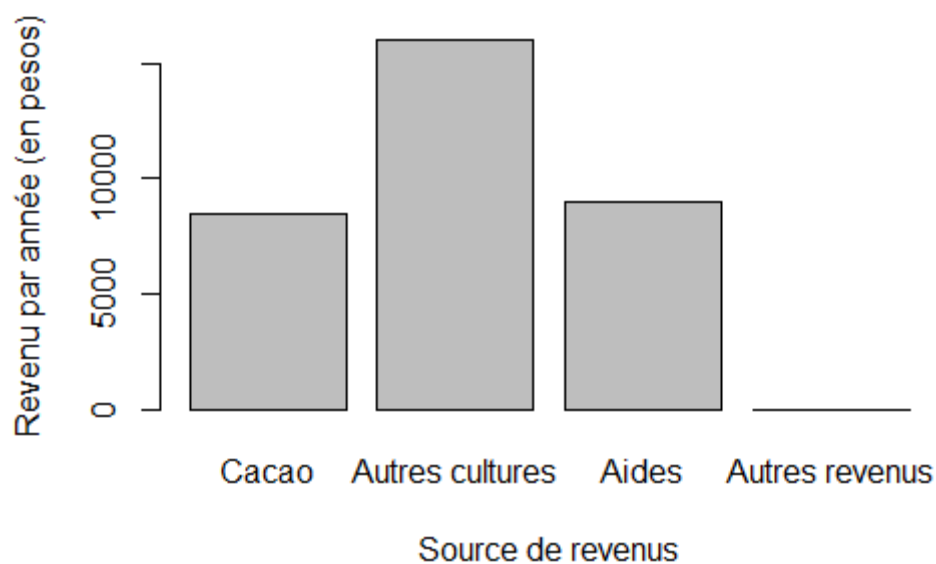


Figure 8-2 Revenus pour l'exploitation B

Le revenu principal de l'exploitation est celui des autres produits de la parcelle, principalement le palmier à huile (50%), les mangues (30%) et les bananes (20%). Le cacao reste productif et représente environ un tiers des revenus de l'exploitation. Il est vendu à un intermédiaire, sous la forme de cacao frais. Les aides gouvernementales sont celles du programme d'aide agricole *Sembrando vida* (pour lequel le ménage n'a pas été éligible directement, ce qui explique le revenu plus modeste).